

Facultad de Ingeniería y Gestión

Mejora de la recuperación de Líquidos de Gas Natural (NGL) en el sistema
de Drenaje Frío Cerrado

Tesis para optar el título de: Ingeniero Industrial

Presenta el Bachiller:

EXEQUIEL RODRÍGUEZ ZAMORA

Presidente: Norman Estuardo Reyes Morales

Asesor: Luis Alberto Valdivia Sánchez

Lector: Wilmer Jhonny Atoche Díaz

LIMA, PERÚ

2018

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico especialmente a mis padres: Cleotilde D. Zamora Rodríguez y Eladio Rodríguez Silva porque ellos hubieran deseado, de todo corazón, realizar lo que estoy haciendo en este momento. Sé que a través de mí, lo han logrado y se sienten complacidos con mi avance.

Dedico a la sociedad en general porque mis principales objetivos de vida son servir a mi país y al mundo, descubrir, aunque sea un secreto de la naturaleza y pasar mis pruebas.

Por otro lado, dedico este trabajo a los grandes maestros que me apoyaron, me formaron y creyeron en mí.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios porque él es mi pastor, me guía por senderos de justicia, en verdes praderas me hace descansar y conforta mi alma. Nada me faltará.

Agradezco a mi asesor, a todos los profesores y empleados en general de la UARM que me apoyaron de distintas maneras para poder culminar este trabajo.

Agradezco a mis familiares y amigos que principalmente me brindaron motivación y soporte para poder culminar este noble trabajo.

Agradezco a lo colegas de trabajo y a la empresa petrolera porque me brindaron ideas, la data y la posibilidad de realizar este trabajo.

RESUMEN

En la presente tesis se ha evaluado la situación actual del sistema Drenaje Frío cerrado (DFC) de la planta de fraccionamiento de líquidos de gas natural (PFLGN), en donde los líquidos de gas natural (NGL)¹ son la materia prima. Después, mediante la simulación de sistemas con el software Stella 9.0.2, el objetivo es dar propuestas de mejora con el fin de aumentar la recuperación de NGL en el sistema DFC.

El sistema DFC se encuentra conformado por cuatro subsistemas: (a) subsistema de colección, (b) subsistema de acumulación y separación, (c) subsistema de recuperación y (d) subsistema de combustión. Además, está conectado a diferentes equipos de la PFLGN, siendo los principales alimentadores del sistema: (a) Filtrado pre almacenamiento (Filtros Peco), (b) Filtrado post almacenamiento (Filtros Nowata) y (c) la línea de ecualización.

El NGL ingresa al sistema por el subsistema de colección a través de la apertura de una válvula del equipo a drenar, luego se transporta por diferencia de presiones al subsistema de acumulación y separación en donde el NGL es separado en hidrocarburos líquidos y gases. A continuación, el subsistema de recuperación recupera los líquidos y el subsistema Ground Flare quema los gases. La quema de estos últimos produce un bajo porcentaje de recuperación de NGL.

El sistema DFC trabaja las 24 horas del día los 365 días del año. Se han simulado 365 réplicas de un día de duración cada una. Se han realizado dos modelos del sistema, uno para el sistema actual el cual informará cuánto NGL se recupera actualmente, y otro con el sistema mejorado, que informará cuánto NGL adicional se recuperaría.

Para aumentar la recuperación de NGL en el modelo mejorado se ha propuesto inyectar al proceso el 85% de NGL de los filtros Peco y Nowata antes de drenar, y en el caso de la línea de ecualización, proponemos calentar el líquido con la inyección de una corriente de gas propano caliente evitando así el drenado en un 100%. Finalmente,

¹NGL, según el Organismo Internacional de Energía está compuesto de hidrocarburos gases y líquidos como se observa en la Figura B1.

mediante un análisis comparativo de los resultados de la simulación de ambos sistemas se estima que el sistema mejorado recuperaría 2,419.7 +/- 4.7% barriles adicionales de NGL al año que se elimina actualmente, y la emisión de gases de efecto invernadero disminuiría en 702.61 toneladas anuales.

Palabras Clave: Líquidos de Gas Natural (NGL), Drenaje Frio Cerrado (DFC), Sistema, simulación, modelo, recuperación de NGL, inyectar, pérdidas, quemar, Drenar, Flujo, volumen, filtro, frecuencia, cantidad, presión, probabilístico, Discreta, Pulsante.

ABSTRACT

This thesis evaluates the current situation of the Cold Closed Drainage System (DFC) of the Natural Gas Liquids Fractionation Plant (PFLGN), in which Natural Gas Liquids (NGL) are the raw material. The objective of this thesis is to give proposals for improvement to increase the recovery of NGL in the DFC system; to evaluate the current situation and finally to perform the simulation of systems by software Stella 9.0.2.

The DFC system is made up of four subsystems: (a) collection subsystem, (b) accumulation and separation subsystem, (c) recovery subsystem and (d) combustion subsystem. The DFC is connected to different equipment of the PFLGN. (a) Pre-storage filtering (Peco Filters), (b) Post storage filtering (Nowata Filters) and (c) the equalization line are the main feeders of the system.

The NGL enters the system, through the collection subsystem by opening a valve of the equipment to be drained, then it is transported by pressure difference to the accumulation and separation subsystem where the NGL is separated into liquid hydrocarbons and gases.

Then the recovery subsystem retrieves the liquids and the Ground Flare subsystem burns the gases. The burning of these latter produces a low percentage of NGL recovery.

The DFC system works 24 hours per day and 365 days per year. The study simulated 365 replicas of one day each and created two models of the system. One of them will report us how much NGL is being recovered by current system, and the other one will inform us how much additional NGL would be recovered by the improved system.

To increase the recovery of NGL in the improved model, we propose to inject 85% NGL from the Peco and Nowata filters before draining, and in the case of the equalization line, we propose to heat the liquid with the injection of a current of hot propane gas thus avoiding drainage by 100%. Finally, through a comparative analysis of the results of the simulation of both systems, it is estimated that the improved system would recover 2, 419.7+/- 4.7% barrels per year of the NGL which is currently removed, and the emission of greenhouse gases would decrease by 702.61 tons per year.

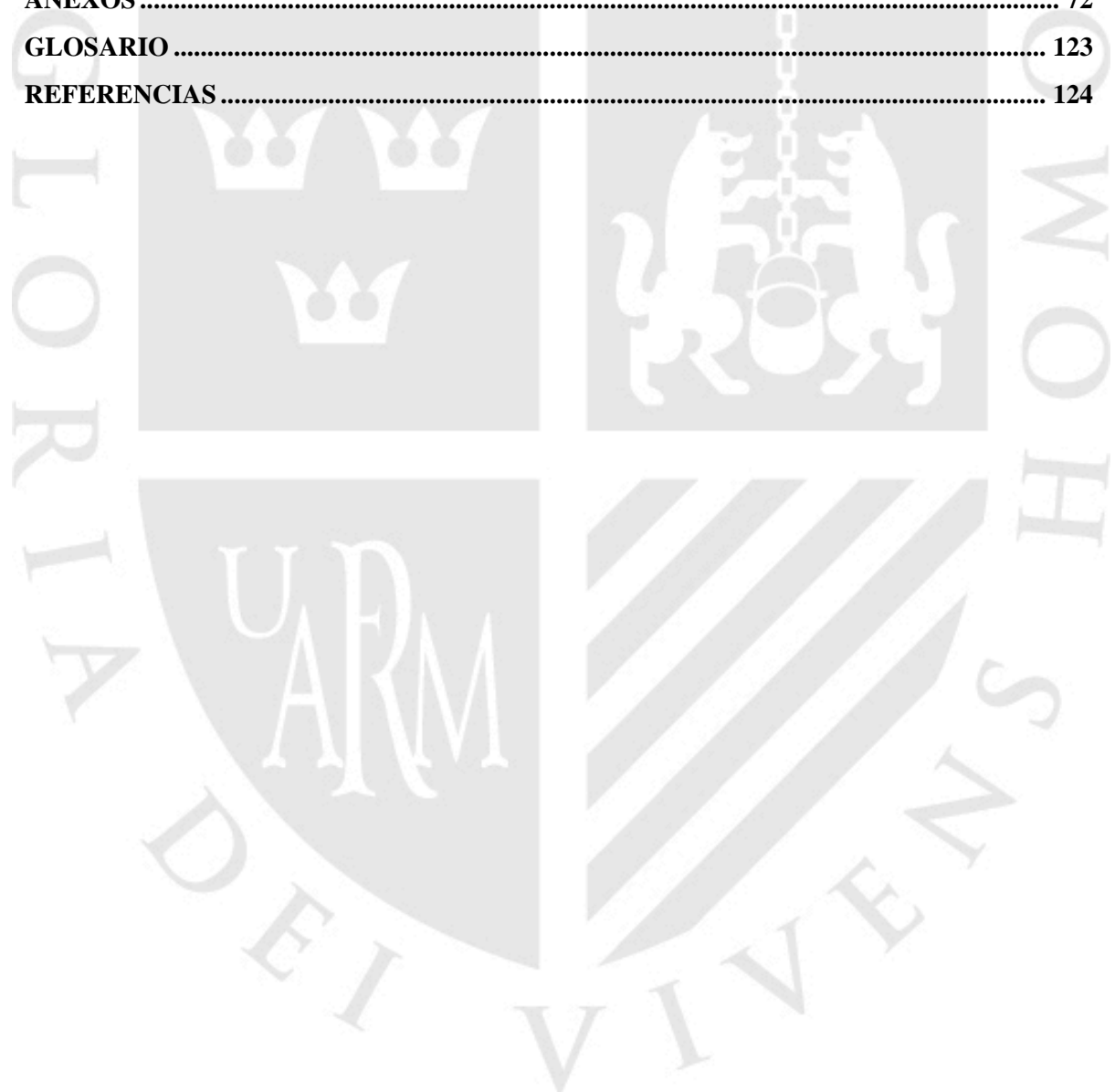
Keywords: Natural Gas Liquids (NGL), Cold Closed Drainage (DFC), System, simulation, model, NGL Recovery, inject, losses, Burn, Drain, Flow, volume, filter, frequency, Quantity, Pressure, Probabilistic, Discrete, Pulsating.



TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	17
1.1 Marco Conceptual.....	17
1.1.1 Simulación de procesos industriales	17
1.1.2 Eficiencia Global de los Equipos (OEE).....	19
1.1.3 Teoría de Bernoulli.....	20
1.1.4 Diagrama de Pareto.....	22
1.1.5 Histograma.....	23
1.1.6 Diagrama de flujo de proceso.....	24
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	25
2.1 Antecedentes	27
2.1.1 Localización	34
2.2 Problema de Investigación.....	34
2.3 Objetivos de Investigación.....	34
2.3.1. General	34
2.3.2. Específicos	34
2.4 Justificación de Investigación.....	35
2.4.1 Justificación Teórica	35
1.4.2. Justificación práctica	35
1.4.3. Justificación Social	35
1.5 Alcances de la Investigación	36
1.6 Viabilidad del Estudio.....	36
3.1 Tipo de Investigación	37
3.2 Población y muestra	37
3.3.1 Descripción de la población	37
3.3.2 Selección de la muestra	37
3.3 Recolección de datos.....	38
3.3.1. Definición operacional de variables del DFC.....	39

CAPÍTULO IV: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS:	41
CAPÍTULO V: MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE FRIO CERRADO	50
CAPÍTULO VI: ELABORACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS:	65
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
ANEXOS	72
GLOSARIO	123
REFERENCIAS	124



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de Pérdidas del proceso en el año 2017 y su Porcentaje de Impacto.....	28
Tabla 2. Datos de los Filtros Peco y Nowata del año 2017	38
Tabla 3. Datos de la Línea de Ecualización.....	39
Tabla 4. Cálculo de la distribución de probabilidad de la cantidad de filtros Peco intervenidos	43
Tabla 5. Cálculo de la distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de filtros Peco.....	44
Tabla 6. Cálculo de la distribución de probabilidad de la cantidad de filtros Nowata intervenidos	47
Tabla 7. Cálculo de la distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de filtros Nowata	48
Tabla 8. Cuadro comparativo entre resultados del sistema actual vs el sistema mejorado .	62
Tabla 9. Cuadro del Detalle de la Inversión	66
Tabla 10. Flujo de Caja.....	67
Tabla 11. Indicadores de la Rentabilidad	68
Tabla C1. Composición Porcentual del NGL.....	77
Tabla F1. Características Fisicoquímicas del NGL y Datos de los Filtros Peco	84
Tabla F2. Características Fisicoquímicas del NGL y Datos de los Filtros Nowata.....	87
Tabla H1. Resultados de las 365 réplicas de la simulación.....	96
Tabla I1. Listado del equipamiento necesario para el nuevo sistema.....	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de las pérdidas de NGL de la PFLGN del año 2017.	15
Figura 2. Formas para estudiar un sistema. Tomado de: “Simulation Modeling & Analysis”, por Averill & Davis (1991). De Mc Graw Hill International Editions. Industrial Engineering series.....	18
Figura 3. Material que fluye a través de un intercambiador de calor. Tomado de “Natural gas Processing Principles and Technology. Part II”. De A.H. Younger (2004). University of Calgary	20
Figura 4. Diagrama de Pareto de los tipos de fallas en campo. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University.....	22
Figura 5. Histograma de las frecuencias de número de conforme. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University.....	23
Figura 6. Diagrama de Flujo de ingreso de pedidos de una empresa que fabrica mercancías por pedido. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University	24
Figura 7. Diagrama de flujo de la PFLGN	26
Figura 8. Diagrama de Pareto de las pérdidas en el proceso año 2017.....	29
Figura 9. Diagrama de flujo del DFC y los tres principales puntos de pérdidas.	30
Figura 10. Diagrama de análisis de Proceso del DFC	32
Figura 11. Histograma de datos de los filtros Peco.	45
Figura 12. Gráfica de distribución discreta teórica de los filtros Peco.	45
Figura 13. Histograma de datos de los filtros Nowata.....	49
Figura 14. Gráfica de distribución discreta Teórica de los filtros Nowata.	49
Figura 15. Diagrama del modelo del sistema Actual.....	54
Figura 16. . Diagrama del sistema mejorado	59
Figura 17. Diagrama del modelo del sistema mejorado	60
Figura 18. Curvas del NGL en el acumulador.	62

Figura 19. Curvas de las toneladas de CO ₂ del sistema actual y mejorado.	63
Figura 20. Diagrama del sistema mejorado	64
Figura A1. Cálculo del volumen de un cilindro	72
Figura B1. Composición de los gases naturales y sus fracciones. Tomado de: (International Energy Agency (IEA), 2015)	73
Figura C1. Imagen del filtro Peco	75
Figura C2. Imagen la parte interna del filtro Peco con sus elementos filtrantes.	75
Figura F1. Presurización de los filtros.....	82
Figura F2. Diagrama de Moody	87
Figura F3. Flow sheet de filtros y esferas.....	89
Figura G1. Diagrama de flujo del procedimiento actual.	92
Figura G2. Diagrama de Diagrama de flujo del procedimiento Mejorado.....	94
Figura J1. . Diagrama funcional de bloques de la planta.....	113
Figura K1. Flujo de comportamiento pulsante	116
Figura K2. Flujo pulsante de NGL en los filtros Peco.	117
Figura L1. Elementos del Software Stella	118
Figura M1. Histograma de la frecuencia de intervención de los filtros Peco.....	119
Figura M2. Gráfica de distribución discreta teórica de la frecuencia de intervención de filtros Peco.....	120
Figura M3. Histograma de la frecuencia de intervención de los filtros Nowata	121
Figura M4. Gráfica de distribución discreta teórica de la frecuencia de intervención de filtros Nowata	121

INTRODUCCIÓN

Como parte de la aplicación de la herramienta OEE² que pretende mejorar la eficiencia de la planta a través de la eliminación de los desperdicios, se buscó información acerca de las mermas en la Planta de fraccionamiento de líquidos de gas natural (PFLGN). Se ha revisado el informe anual de gerencia del año 2016, donde se evidencia una pérdida global de 0,49% de la materia prima denominada NGL. Aunque el porcentaje de pérdidas de materia prima es bajo, pero al ver que se procesan 36'331,920.0 barriles de NGL al año, se concluye que se han perdido 178,026.4 barriles de NGL al año. Si se toma en consideración que el precio internacional del NGL oscila alrededor de 40 dólares el barril y el volumen de NGL antes mencionado, se han perdido 7'121,056.0 dólares al año. Esta pérdida es significativa y amerita la realización de mejoras en el proceso.

Al investigarse en qué partes del proceso se pierde el NGL se encontró diversos puntos de pérdidas; los cuales pueden clasificarse en dos grupos, (a) pérdidas en el proceso productivo y (b) pérdidas externas. Asimismo, para saber cuánto pierde cada grupo se encontraron que las pérdidas del proceso productivo suman 3,606.2 barriles al año. Esta cifra representa el 2% de la pérdida global, y el 98% de la pérdida global se localiza en las pérdidas externas. Las pérdidas externas se presentan en la plataforma marina durante los embarques.

Aunque las mermas externas son el 98% de la pérdida global, se decidió trabajar en las pérdidas del proceso productivo, porque las externas son de difícil acceso para nuestro análisis. Por este motivo se decidió que la tesis se enfocara solo en las disminuciones del proceso productivo.

² OEE o Eficiencia Global de los Equipos es un indicador clave de desempeño que mide la eficiencia de la planta. Para mayor información ver el acápite 1.1.2 del capítulo I.

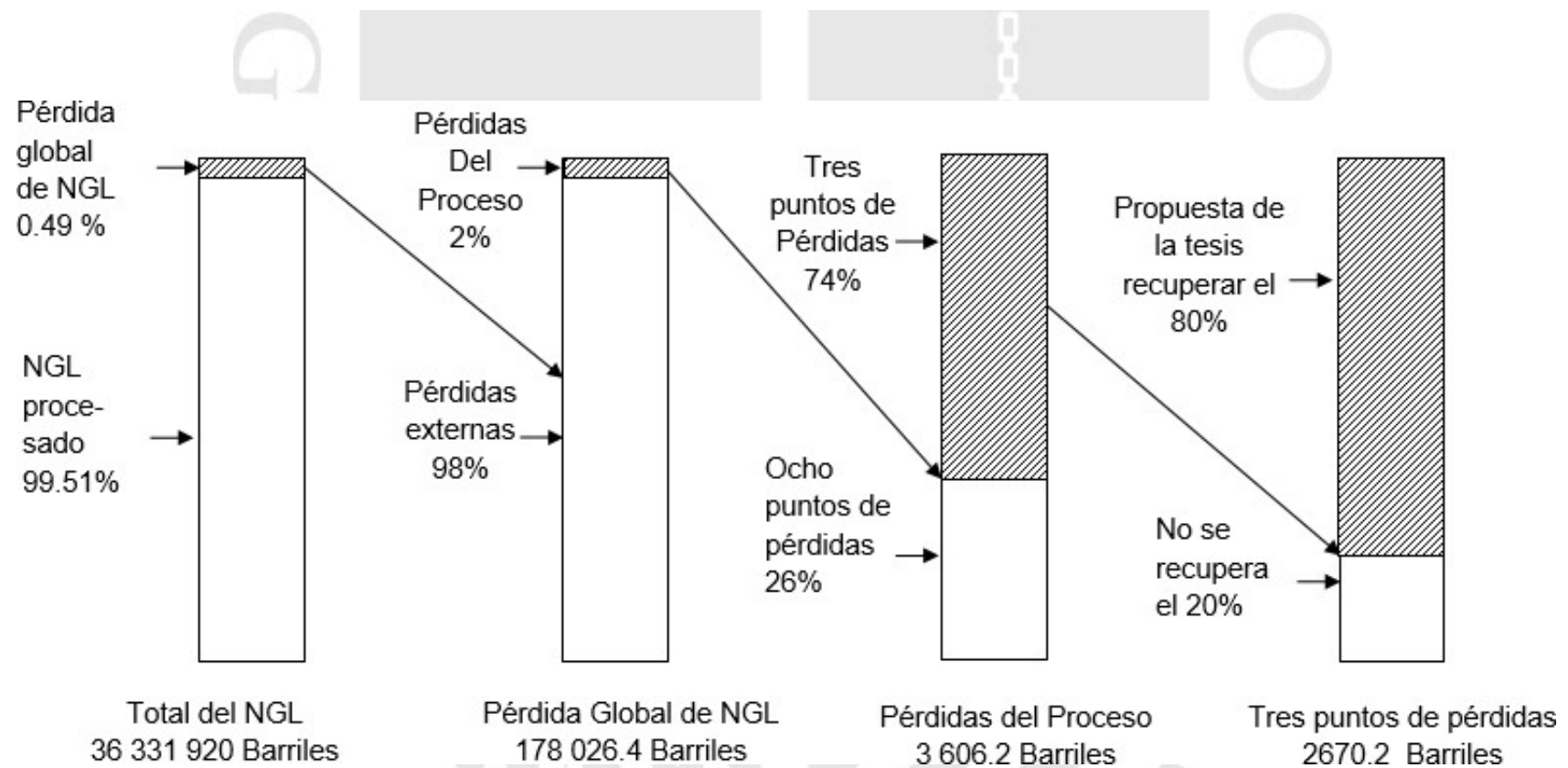


Figura 1. Diagrama de las pérdidas de NGL de la PFLGN del año 2017.

En la Tabla 1 del segundo capítulo se han listado los puntos de pérdidas y mediante un diagnóstico con Pareto de la Figura 8 se pudo determinar tres puntos principales de mermas, las mismas que representan el 74% de las mermas del proceso productivo. Este 74% son 2,670.2 barriles de NGL al año. Por último, con las mejoras propuestas en el trabajo de investigación se pretende recuperar mínimo el 80% del volumen total de NGL que se pierde en estos tres puntos de pérdidas y simboliza 2,136.2 barriles de NGL al año, en la Tabla 1 se aprecian la distribución de estos porcentajes.

La recuperación del 80% del NGL de estos tres puntos también significa dejar de emitir 702.61 toneladas de dióxido de carbono. Dado que con la tesis proponemos aumentar la recuperación de NGL de estos tres puntos de pérdidas a un mínimo de 80%, para ello en el tercer capítulo se ha tomado en consideración la data de enero a diciembre del año 2017 y se han definido las variables de estudio. Luego, en el cuarto capítulo se ha realizado un tratamiento estadístico a la data del capítulo anterior con el fin de determinar su distribución estadística de las variables probabilísticas. Esta información estadística hizo posible la simulación en el quinto capítulo.

Como mencionamos en líneas anteriores, en el quinto capítulo se ha simulado el sistema actual del DFC y los tres puntos de pérdidas; posteriormente, los resultados de la simulación se compararon con la pérdida real del año 2017, y como expresaron similitud fueron plausibles de ser usados en la simulación de un sistema mejorado. Asimismo, se llevó a cabo la simulación del sistema propuesto y se evaluaron los resultados del sistema, los mismos que arrojaron una recuperación mínima del 80% del NGL que pierde el sistema actual.

Finalmente, en el sexto capítulo se ha demostrado la factibilidad técnica y económica de las propuestas y en las conclusiones se ha referido la demostración mediante simulación que, el sistema mejorado recuperó por lo menos el 80% del NGL de lo que pierde el sistema actual, demostrando que es técnicamente factible y económicamente rentable realizar las propuestas.

CAPÍTULO I:

MARCO TEÓRICO:

Descripción de teorías y conceptos

En el marco teórico se han expuesto las teorías y conceptos relacionados con la investigación y finalmente los términos y abreviaturas que se usaron para el desarrollo de la misma.

1.1 Marco Conceptual

En este punto se han citado las diversas teorías y conceptos, los mismos que proporcionaron herramientas para entender el problema y cómo desarrollar una propuesta óptima. En este punto se evidenciaron dos tipos de teorías, unas usadas por la ingeniería industrial y otras de la ingeniería química y Petroquímica. Las primeras proporcionaron herramientas que ayudaron al diagnóstico de la situación del problema y qué y cómo se debería dar solución. Asimismo, proporcionó herramientas para simular el impacto de la propuesta, e implementarla. En cuanto a las segundas su pertinencia permitió la realización técnica de la propuesta. Es decir, estas teorías avalaron la técnica a usarse y bajo qué condiciones para que suceda lo esperado.

1.1.1 Simulación de procesos industriales

En la ingeniería se utiliza la simulación como una herramienta que permite experimentar con un sistema al que se le han realizado determinados cambios en determinadas condiciones y predecirá lo que sucederá.

Como se evidencia en la Figura 2, estos experimentos se pueden realizar en el sistema real o mediante un modelo que represente al sistema. Si se decide experimentar mediante un modelo existen dos tipos: (a) físicos y (b) matemáticos; en el caso de los modelos matemáticos se pueden tratar de manera analítica o mediante simulación, y obtener una solución; esto dependerá de la complejidad del sistema.

Según (Averill & David, 1991) la simulación se debe utilizar en sistemas complejos donde los modelos matemáticos no tienen posibilidad de dar una solución analítica. Cuando se utiliza la simulación es importante clasificar a los modelos de simulación mediante tres dimensiones.

Modelos de simulación Estáticos y Dinámicos. Un modelo es estático cuando se realiza una representación de un sistema en un momento determinado, o uno que puede ser usado para representar un sistema en el cual el tiempo simplemente no juega ningún papel. Por otro lado, un modelo de simulación dinámica representa a un sistema que evoluciona en el tiempo.

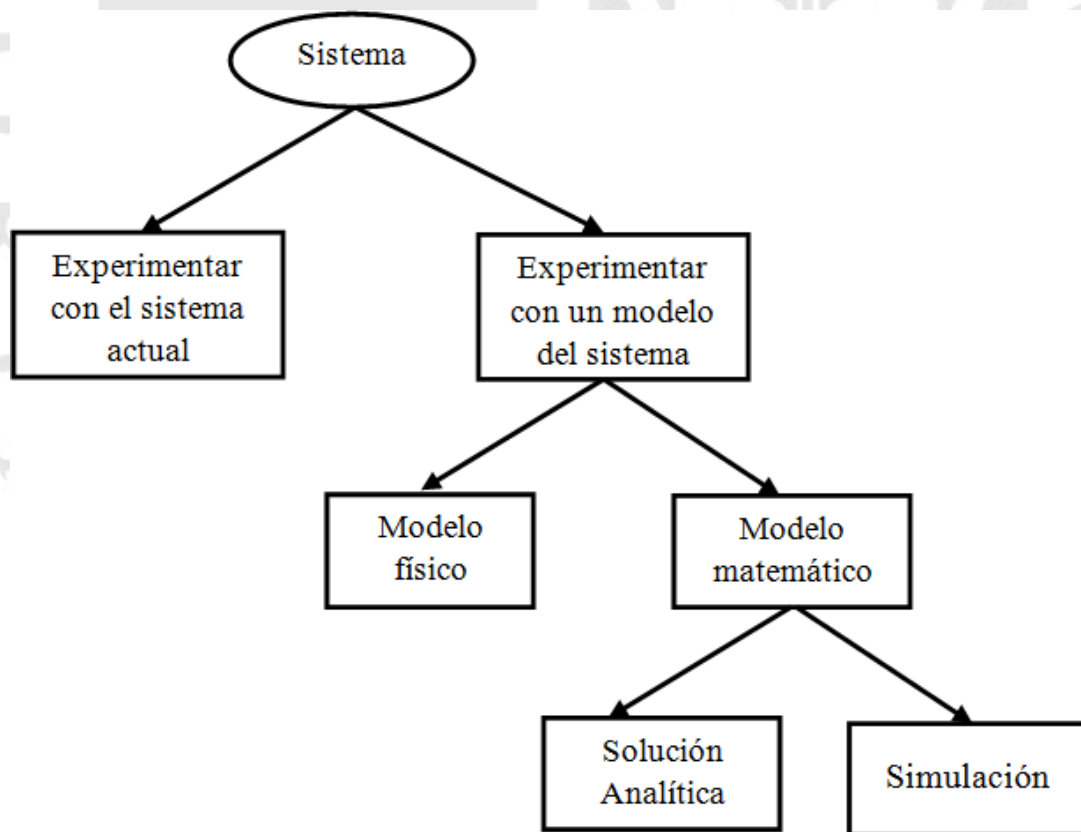


Figura 2. Formas para estudiar un sistema. Tomado de: “Simulation Modeling & Analysis”, por Averill & Davis (1991). De Mc Graw Hill International Editions. Industrial Engineering series.

Modelos de simulación Determinísticos y Estocásticos. Si un modelo de simulación no contiene componentes probabilísticos, se denomina determinístico. En los Modelos determinísticos, la salida se "determina" una vez que se han especificado el conjunto de cantidades de entrada y relaciones en el modelo. Sin embargo, muchos

sistemas deben ser modelados teniendo al menos algunos componentes de entrada aleatorios, y estos dan lugar a modelos de simulación estocásticos. Por otro lado, los modelos de simulación estocástica producen una salida que también es aleatoria, por lo que debe ser tratada como una estimación de las verdaderas características del modelo.

Modelos de simulación Discretos y Continuos. Un sistema discreto es aquel en el cual las variables de estado cambian instantáneamente entre puntos separados en el tiempo. Un sistema continuo es aquel en el cual las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo.

1.1.2 Eficiencia Global de los Equipos (OEE)

El OEE proviene de sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), es un indicador clave de desempeño de la planta y equipo, el que combina tres parámetros como son la disponibilidad, el rendimiento y la calidad. Su valor de este indicador clave es porcentual e indica cuánto le falta a la planta y equipo para llegar al 100%, en adición, se puede ver en cuál de los tres parámetros de producción enfocarse para mejorar. También sirve para hacer Benchmarking entre un proceso y otro.

Cálculo del OEE. Para calcular el OEE es necesario multiplicar tres razones porcentuales: (a) la Disponibilidad, (b) la Eficiencia y (c) la Calidad. Matemáticamente:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

Donde:

1. La disponibilidad. Indica que la maquinaria estuvo cierto tiempo detenida
2. La eficiencia. La maquinaria estuvo funcionando a menos de su capacidad total.
3. La calidad. Se ha producido unidades defectuosas.

Las seis pérdidas que pretende eliminar OEE son estas seis pérdidas y las clasifica según los tres parámetros, ya sea que pertenecen a Disponibilidad, la Eficiencia y la Calidad como sigue:

Las dos primeras, Paradas/Averías y Ajustes, afectan a la Disponibilidad. Las dos siguientes Pequeñas Paradas y Reducción de velocidad, afectan al Rendimiento y las dos últimas Rechazos por puesta en marcha y Rechazos de producción afectan a la Calidad.

Las seis grandes pérdidas son: (a) Paradas / Averías, (b) Configuración y Ajustes, (c) Pequeñas Paradas, (d) Reducción de velocidad, (e) Rechazos por Puesta en Marcha y (f) Rechazos de Producción

Los Cálculos para obtener los tres factores de OEE: (a) Disponibilidad = tiempo operativo/Tiempo planificado, (b) Rendimiento = Tiempo de funcionamiento/Tiempo Operativo y (c) Calidad = Tiempo productivo/tiempo de funcionamiento. Por tanto, OEE:

$$OEE = \text{Tiempo Productivo} / \text{Tiempo planificado}.$$

1.1.3 Teoría de Bernoulli

Dicha teoría indica que un fluido ideal mantiene su energía a lo largo de su recorrido. Es decir:

$$Z + (V^2/2g_c) + PV = \text{Constante}.$$

Pero según (A.H Younger P. , April 2004) en fluidos reales existen pérdidas de energía al transportarse de un punto a otro, para la cual a la teoría de Bernoulli se añade un término más (W) el cual representa la pérdida de energía que sufre el fluido al transportarse de un punto a otro, o la cantidad de energía a suministrar al fluido para transportarlo de un punto a otro.

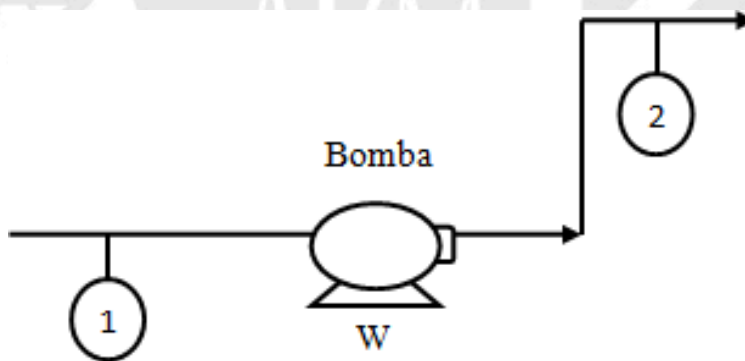


Figura 3. Material que fluye a través de un intercambiador de calor. Tomado de “Natural gas Processing Principles and Technology. Part II”. De A.H. Younger (2004). University of Calgary

Esto nos permitirá calcular la energía (W) a suministrar al NGL para inyectar al proceso antes de drenar y purgar. Es decir, cuánta energía necesita en NGL para transportarlo desde los filtros hacia la línea del proceso.

Ecuación de Energía. Para hallar la ecuación de energía lo haremos con la ayuda de la Figura 3, en donde se ha considerado un flujo de fluido bombeado hacia un intercambiador de calor que está en un punto más alto.

La ecuación de energía se escribirá comparando el punto uno con el punto dos de la Figura 3.

$$U_1 + Z_1 + (V_1^2/2g_c) + P_1V_1 + W + q = U_2 + Z_2 + (V_2^2/2g_c) + P_2V_2$$

$$W + q = \Delta U + \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta PV$$

Considerando que no ocurre trabajo exterior y tampoco sale calor al exterior, entonces ΔU es cero y en término “q” también será cero.

$$W = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta PV$$

Para fluidos incompresibles donde no cambie el volumen a consecuencia de cambiar la presión se expresaría así:

$$W = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta P/\rho \text{ (Teoría de Bernoulli Ajustada)}$$

Donde:

W = Trabajo para vencer la fricción y otros cambios en la tubería.

Z = Es la altura a la que está el fluido.

ρ = La densidad del fluido.

V = Es la velocidad que tiene el fluido.

P = Es la presión que tiene el fluido.

g_c = es la gravedad.

El valor del término “W” es el valor del trabajo que tiene que hacer la bomba para vencer (a) la fricción de la tubería, (b) la altura a la que se encuentra el punto dos y (C) la presión a la que se encuentra el punto dos y transportar el líquido desde el punto uno al punto dos.

Normalmente todos estos factores que generan pérdida de energía al transportar el líquido, se convierten a una misma unidad luego se suman y dan un equivalente de presión.

Este equivalente representa la presión de descarga que debe tener la bomba para poder transportar del punto uno al punto dos. No obstante, la presión de descarga que debe tener la bomba no solo lo puede dar una bomba, también lo puede dar otro fluido que se encuentre a mayor presión.

Lo descrito en líneas anteriores representa el caso que se investiga en este estudio, el cual no usará una bomba para trasportar el NGL, si no que se presurizará con nitrógeno al punto que contiene el NGL y luego se inyectará al proceso por diferencia de presiones.

Como se puede ver, la teoría de Bernoulli Ajustada es una teoría transcendental para la viabilidad técnica de la mejora, ya que esta teoría permitirá determinar la presión a la que se encuentran sometidos los filtros; para que el NGL pueda vencer la presión de la línea e ingresar al proceso.

1.1.4 Diagrama de Pareto

Según (H.Besterfield, 2009) el diagrama de Pareto es una gráfica que clasifica los datos en orden descendente, de izquierda a derecha, como se observa en la Figura 4. En este caso, las clasificaciones de datos son tipos de fallas en el campo. Los diagramas de Pareto se usan para identificar los problemas más importantes. En general, el 80% del total se debe al 20% de los elementos. Obsérvese que los tipos F y C de fallas en el campo forman casi 80% del total.

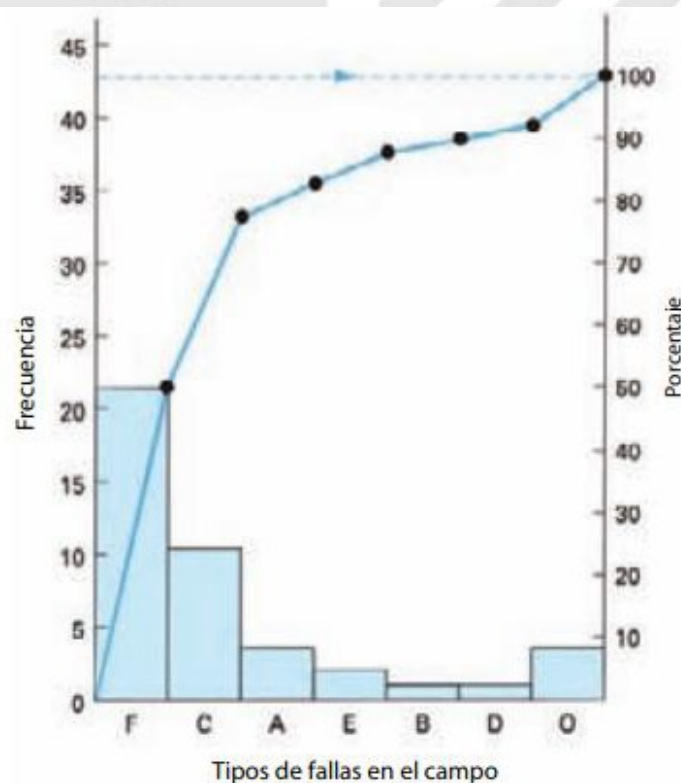


Figura 4. Diagrama de Pareto de los tipos de fallas en campo. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University.

Pasos para la constitución del diagrama de Pareto

1. Determinar el método para clasificar los datos: (a) por problema, (b) causa, (c) tipo de no conformidad, entre otros.
2. Decidir si para evaluar las características se usarán dólares (que es lo recomendable), frecuencia ponderada o frecuencia.
3. Reunir datos durante un intervalo adecuado de tiempo.
4. Resumir los datos y agrupar las categorías en orden descendente.
5. Calcular el porcentaje acumulado, si es que se va a usar.
6. Trazar el diagrama y determinar cuáles son los pocos vitales.

1.1.5 Histograma

Según (H.Besterfield, 2009) un histograma es una gráfica que consiste en un conjunto de rectángulos que representan la frecuencia en cada categoría. Gráficamente simboliza las frecuencias de los valores observados. En la Figura 5 se muestra un histograma de datos discretos y sus frecuencias absolutas, los datos del eje x son el número de no conformes y el eje y la frecuencia absoluta.

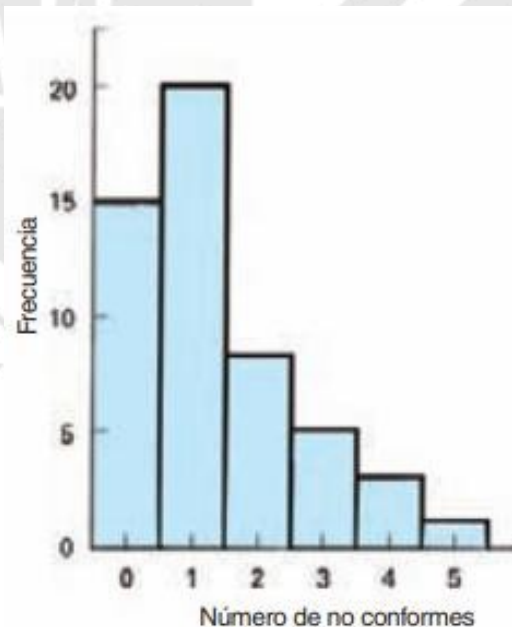


Figura 5. Histograma de las frecuencias de número de conforme. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University.

Además, según (H.Besterfield, 2009) se puede hacer histogramas de (a) datos agrupados y (b) datos sin agrupar, para el caso de datos sin agrupar se puede hacer histogramas de frecuencias (a) absolutas, (b) relativas, (c) acumuladas y (d) acumuladas relativas.

1.1.6 Diagrama de flujo de proceso

Según (H.Besterfield, 2009) para muchos productos y servicios es útil elaborar un diagrama de flujo, el cual también se conoce como mapa del proceso. Este es un diagrama esquemático que muestra el flujo de un producto o servicio al pasar por las diversas estaciones u operaciones de procesamiento. Con dicho diagrama se facilita visualizar el sistema completo, identificar los puntos problemáticos potenciales, y localizar las actividades de control. En ingeniería industrial se usan símbolos estandarizados, la Figura 6 muestra un diagrama de flujo.

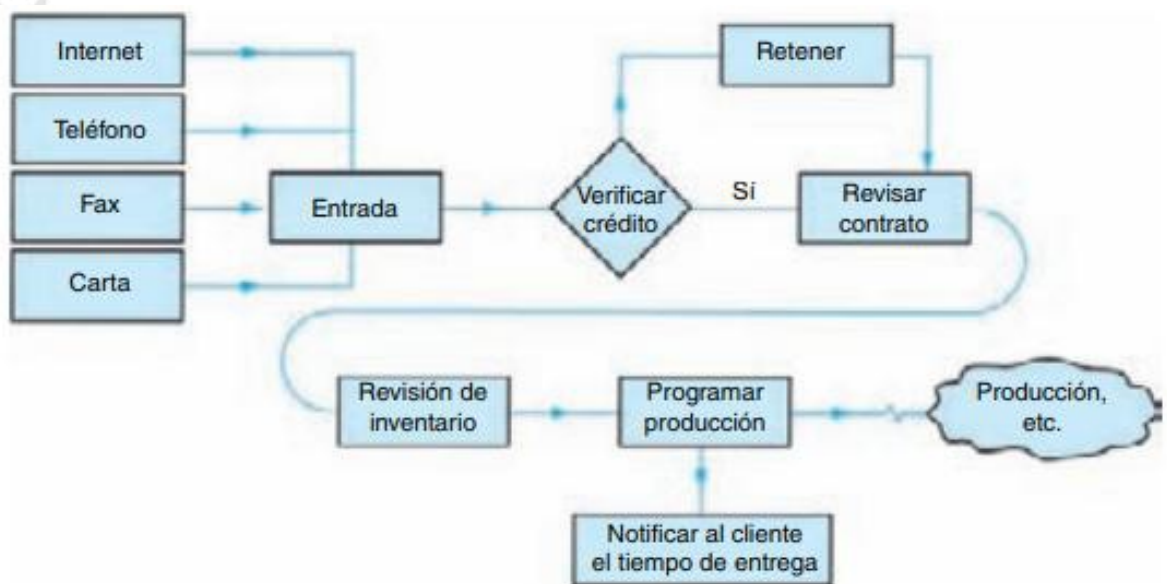


Figura 6. Diagrama de Flujo de ingreso de pedidos de una empresa que fabrica mercancías por pedido. Tomado de “Control de calidad”. De Dale H. Besterfield. College of Engineering Southern Illinois University.

CAPÍTULO II:

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Descripción del proceso, diagnóstico y planteamiento de objetivos

Descripción del proceso de fraccionamiento de NGL. En la Figura 7 se ha descrito un resumen del proceso de la PFLGN, si se observa la planta como si fuera un solo bloque en cuanto al procesamiento del NGL se puede afirmar que ingresa NGL y la planta lo separa en cuatro productos como son: (a) Propano, (b) butano, (c) Nafta y (d) MDBS. Este proceso se da de la siguiente manera: el NGL proveniente de Malvinas es almacenado presurizado en tres tanques esféricos; previamente a ser almacenado es filtrado en una batería de tres filtros de marca Peco. En la Figura 7 se ubica en el punto “A”. A este filtrado se le denomina filtrado pre almacenamiento y filtra hasta un tamaño de partícula de 10 micras. El NGL es bombeado desde los tanques esféricos hacia el proceso, pero previamente a su ingreso a planta es depurado en una batería de tres filtros de marca Nowata. En la figura 7 se le ha ubicado en el punto “C”. A este filtrado se le denomina filtrado post almacenamiento, este segundo proceso es más fino, puesto que filtra hasta un tamaño de partícula de 5 micras.

El NGL al llegar al proceso ingresa primeramente por la columna de destilación denominada “Depropanizadora” porque aquí se destila y se extrae el propano. Este propano extraído de la depropanizadora se le realiza un (a) enfriamiento y un (b) refrigerado en “Pre chilling” y “Refrigeración” respectivamente. Finalmente, se almacena en tanques de almacenamiento refrigerado a -45°F. En el punto “E” de la Figura 7 se hace el pre chilling y refrigeración del propano. El NGL sin propano denominado “C⁴⁺” se extrae por el fondo de la depropanizadora y se inyecta a la columna denominada “Debutanizadora”, porque en este punto se destila y se extrae butano. Este butano extraído de la Debutanizadora, al igual que el propano, es enfriado y refrigerado. Por último, se almacena en tanques de almacenamiento refrigerado a 20°F.

26

El NGL sin propano y butano es extraído del fondo de la Debutanizadora. A este hidrocarburo se le denomina condensado o “C⁵⁺” y se almacena en un tanque, para finalmente ser inyectado a la columna denominada de “Topping”. En esta columna se destila y extrae Nafta para luego ser enfriada y almacenada en tanques atmosféricos. Ahora bien, del último plato cercano al fondo de la columna de Topping se extrae MDBS, se enfría y se almacena en tanques de almacenamiento atmosférico. Por el fondo de la columna de Topping se extrae una mínima cantidad de residuos o denominado Slop.

Para el caso del propano y butano después del enfriamiento en pre chilling se extrae una fracción y se le almacena a temperatura ambiente y presurizada en bullets. Este stock sirve para la venta por vía terrestre con camiones cisternas. Finalmente, las acciones descritas en líneas anteriores son aplicables sí y solo sí para los cuatro productos, cuando se alcanza un inventario requerido por el cliente y que posteriormente se comercializa. Por otro lado, el embarque a buques tanques se realiza en una plataforma marina y el despacho hacia los camiones cisterna se lleva a cabo en islas de despacho. Tanto las islas de despacho como la plataforma marina son áreas externas al área de procesos. Para mayor detalle de cada una de estas sub fases del proceso con más detalle se le puede observar en el Anexo J.

Ahora bien, es necesario que ubiquemos en la PFLGN los tres puntos principales de pérdidas: (a) Filtrado pre almacenamiento (Filtros Peco), (b) Filtrado post almacenamiento (Filtros Nowata) y (c) la línea de ecualización. Tal como se puede ver en la Figura 7, los filtros Peco se ubican en el punto “A”, previo al almacenamiento en las esferas; los filtros Nowata se sitúan en el punto “C”, después del almacenamiento; y la línea de ecualización se encuentra conectada y uniendo la parte gaseosa de los tres tanques esféricos de almacenamiento (ver Figura 9), donde se aprecia la línea de ecualización.

En el caso de los filtros Peco y Nowata se drena el NGL para hacer cambio de elementos filtrantes, Este NGL drenado se direcciona al sistema de drenaje frío cerrado (DFC) el cual recupera el 40%. Para el caso de la línea de ecualización se drenan los líquidos formados en la parte baja de la línea de ecualización, los mismos que permiten que fluyan los gases y las presiones en las esferas se mantengan ecualizadas. Este líquido drenado se direcciona también al DFC, del cual se pierde el 100%.

2.1 Antecedentes

Diagnóstico. En el año 2017, después de realizar una investigación y cuantificación del proceso productivo, se encontraron 11 puntos de pérdidas. En la Tabla 1 se exponen los puntos mencionados, con sus respectivas pérdidas. Para mayor información de cada punto de pérdida ver el Anexo J.

A continuación, se puede observar en la Figura 8 la aplicación del diagrama de Pareto, el mismo que determinó los pocos vitales, que quedan después de aplicar el principio de Pareto a los puntos de pérdidas mencionados en la Tabla 1.

Tabla 1.

Reporte del Volumen Perdido en los Puntos de Pérdidas del Proceso en el Año 2017.

Puntos de Pérdidas	Barriles/año	Porcentaje	% Acumulado
Filtrado Pre almacenamiento (Filtros Peco)	1209,6	33,5%	33,5%
línea de ecualización	1095,6	30,4%	63,9%
Filtrado Post almacenamiento (Filtros Nowata)	365	10,1%	74,0%
Entrega de otros equipos	210	5,8%	79,9%
Refrigeración y Pre Chilling	143	4,0%	83,8%
Depropanizadora	136	3,8%	87,6%
Almacenamiento Refrigerado	116	3,2%	90,8%
Despacho de GLP	108	3,0%	93,8%
Debutanizadora	89	2,5%	96,3%
Muestreo	74	2,1%	98,3%
Almacenamiento Nafta y MDBS	60	1,7%	100%
Total	3606,2	100%	

Nota. Fuente: Estadísticas internas de la empresa

Según el diagrama de Pareto son tres los principales puntos de pérdidas: (a) Filtrado pre almacenamiento (Filtros Peco), (b) Filtrado post almacenamiento (Filtros Nowata) y (c) la línea de ecualización. Por lo que el desarrollo de la tesis se enfocó en tres de los once puntos de pérdidas; esto es el 27.3% de los once puntos de pérdidas denominados “pocos vitales”. Recibe este nombre puesto que reduciría al 74% de los 3,606.2 barriles por año de

NGL que se pierden en el proceso productivo. Es por ello que de aquí en adelante nos referiremos como filtros Peco al filtrado Pre almacenamiento y Filtros Nowata al filtrado Post almacenamiento, siendo Peco y Nowata las marcas de los filtros.

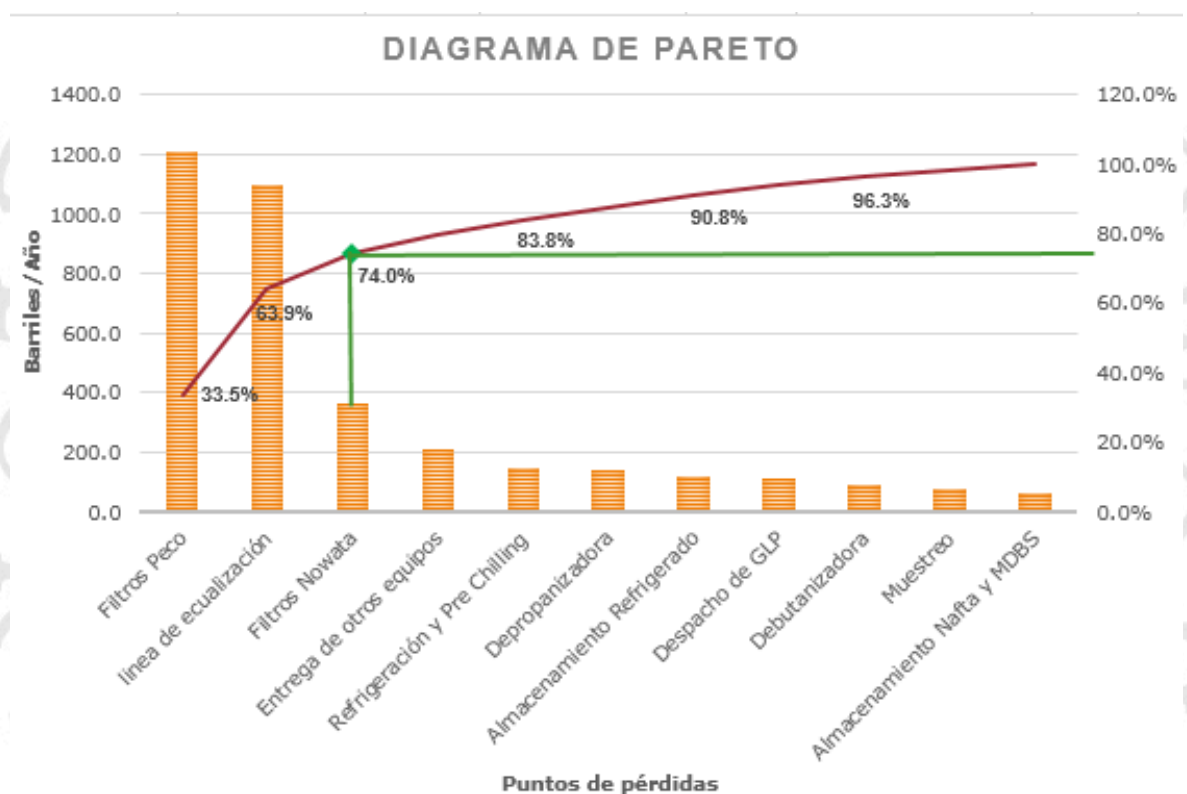


Figura 8. Diagrama de Pareto de las pérdidas en el proceso año 2017.

La principal diferencia entre ambos equipos de filtrado radica en el tamaño de partícula retenida por los elementos filtrantes; siendo los filtros Nowata los que producen un filtrado más fino hasta 5 micras de tamaño de partícula y los filtros Peco retienen hasta 10 micras de tamaño de partícula. Para más detalle de los filtros revisar los Anexos C y F en donde se pueden apreciar imágenes y datos.

Estos tres puntos de pérdidas del proceso productivo concentran las mayores cantidades de pérdidas de NGL, puesto que la frecuencia de intervenciones por mantenimiento es alta en comparación con los demás puntos.

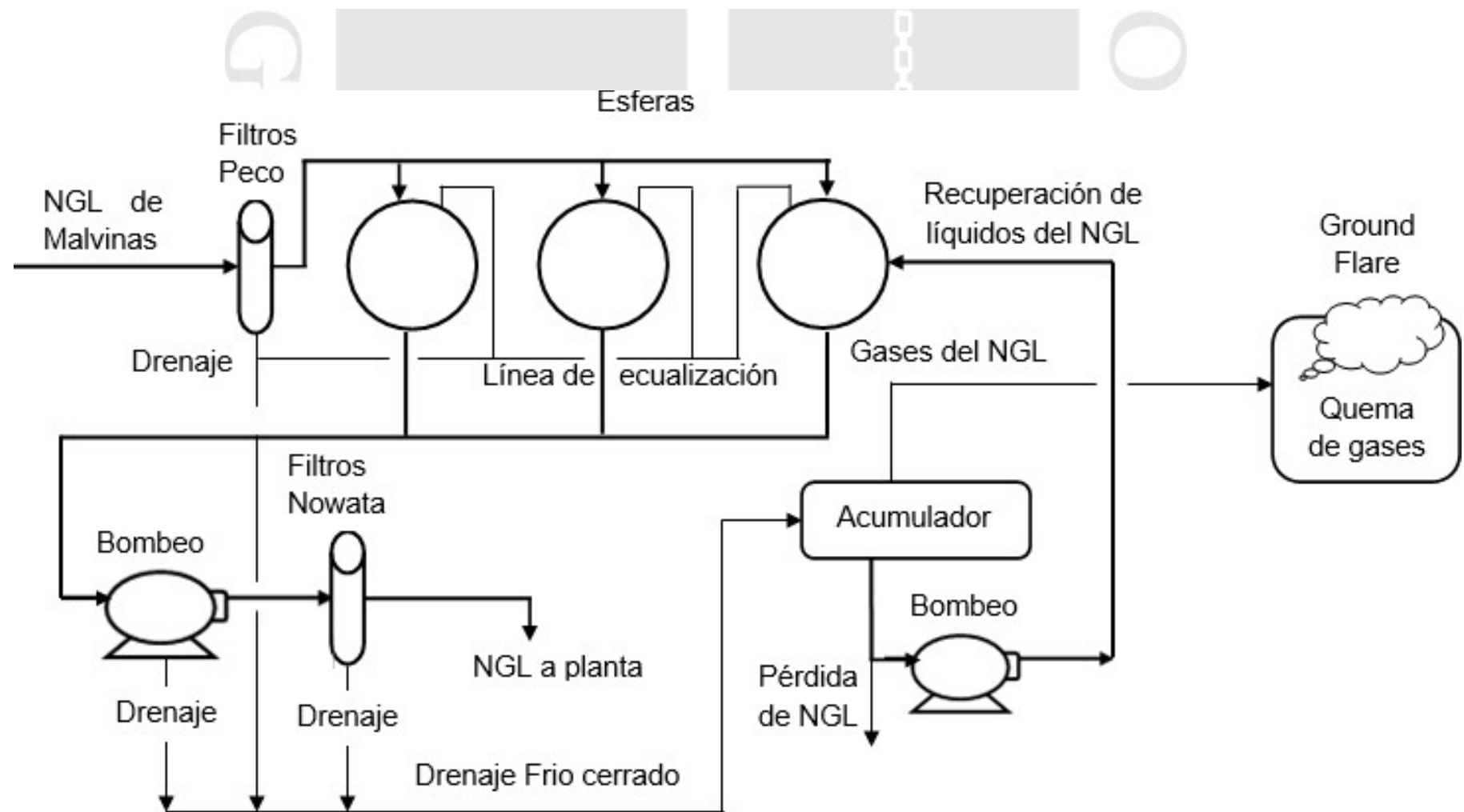


Figura 9. Diagrama de flujo del DFC y los tres principales puntos de pérdidas.

En la Figura 9 se han descrito los tres principales puntos de pérdidas del proceso y su relación con el sistema Drenaje Frío Cerrado (DFC). Como se puede ver, primero el NGL llega de Malvinas y se lleva a cabo un filtrado en los filtros Peco ; en segundo lugar; se almacenan en tres tanques esféricos y luego se filtra en los filtros Nowata; posteriormente, es bombeado hacia la planta para su procesamiento.

Ahora bien, este proceso conlleva a la siguiente situación: Con el pasar de las horas y los días, los elementos filtrantes de los filtros se ensucian y es necesario realizar un mantenimiento para cambiar los elementos filtrantes. Como ejemplo, se plantea una posible intervención a los filtros Peco, con el propósito de realizar el mantenimiento; para ello se debe extraer el NGL, el mismo que se encuentra contenido a través de un drenado. Tal como se evidencia en la Figura 9, el NGL drenado se direcciona al sistema Drenaje Frío Cerrado (DFC), el cual lo transporta a un acumulador, en donde el NGL es separado en líquidos y gases; posteriormente, los componentes líquidos del NGL se recuperan y se les envía nuevamente a las esferas.

Por otro lado, los componentes gaseosos del NGL se envían al Ground Flare en donde es quemado. La quema de esta sustancia es la razón de dos grandes problemas: la pérdida del NGL y la emisión hacia el ambiente de los productos de la combustión. De manera similar a los filtros Peco, los filtros Nowata pierden NGL cuando se les realiza mantenimiento para cambio de elementos filtrantes.

Para el caso de la línea de ecualización, cuando pasa el tiempo determinado para ser drenada la línea de ecualización, solo se drena por un tiempo determinado; luego, tal como se evidencia en la Figura 9 se direcciona al DFC, el cual lo transporta al acumulador, en donde la totalidad del NGL se vaporiza y finalmente se quema en el Ground Flare. Las pérdidas totales de NGL en el DFC se estiman en 60%. Esta cifra puede corroborarse en la Tabla 1.

En esta investigación se han realizado propuestas de mejora con el objetivo de incrementar el porcentaje de recuperación del DFC, a 80% como mínimo.

Descripción del Drenaje Frío Cerrado. El rol que cumple el DFC en la PFLGN es la de coleccionar los líquidos de desecho que se encuentran presurizados y que al expandirse generan bajas temperaturas (véase Figuras 9 y 10). Luego, deben ser transportados de manera segura al subsistema de acumulación y separación, donde es apartado en hidrocarburos líquidos y gases. Finalmente, se recuperan los líquidos mediante el

subsistema de recuperación y se queman los gases en el ground flare, A continuación, se presenta la descripción de la operación de cada subsistema.

Subsistema de colección. Este subsistema colecta el NGL evacuado de los equipos y sistemas presurizados de planta; posteriormente se lleva a cabo su mantenimiento. Este es el subsistema por donde el NGL ingresa al DFC, dicho ingreso se realiza por diferencia de presión después de abrir la válvula de drenaje del equipo a intervenir.

Subsistema de acumulación y separación. En este subsistema se acumula el NGL en un tanque de acero, en donde el NGL se separa en hidrocarburos líquidos y gases mediante la vaporización de los gases.

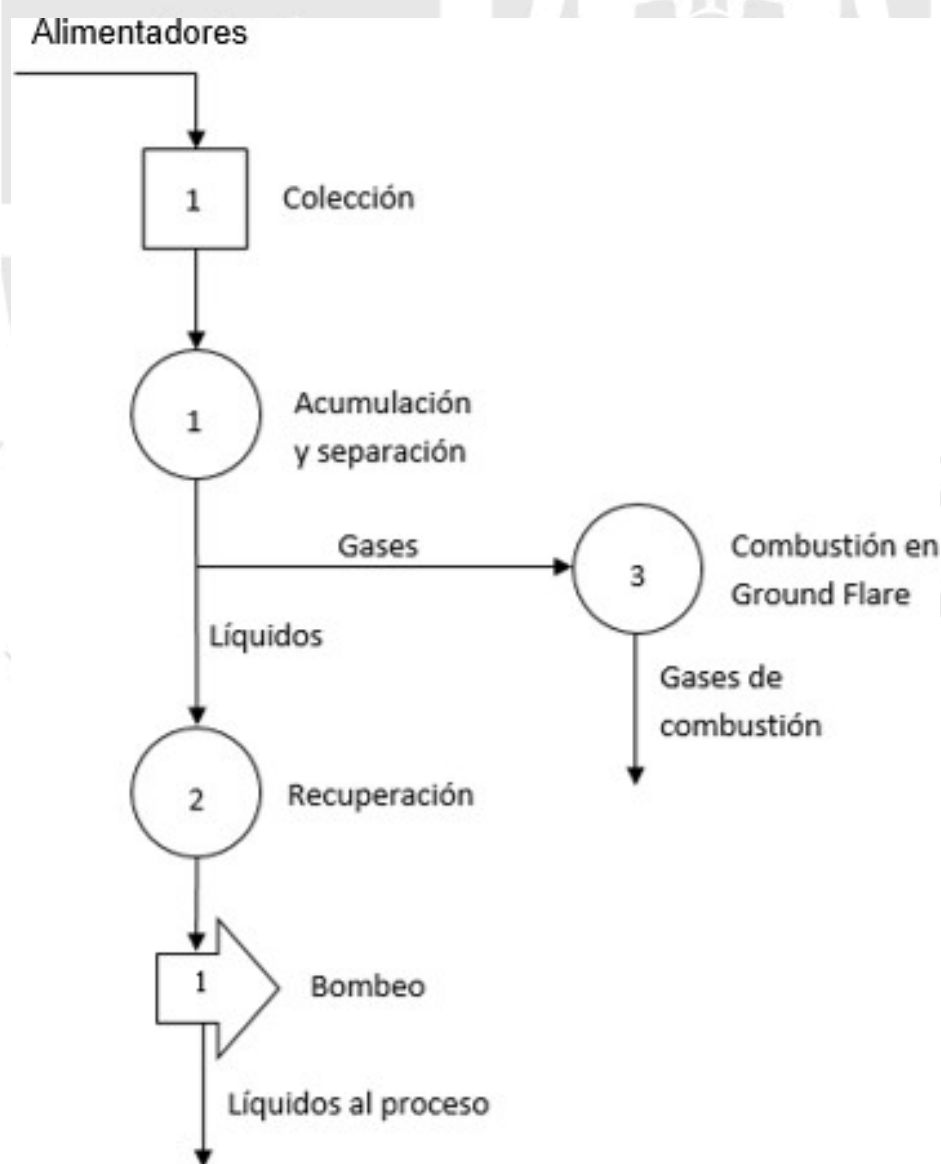


Figura 10. Diagrama de análisis de Proceso del DFC

Subsistema de recuperación. El procedimiento de recuperación se produce cuando el indicador de nivel del tanque de acero muestra un grado del 50%. Solo en ese porcentaje se realiza la operación de recuperación. Esta consiste en bombear el NGL del tanque de acero e inyectar a los tanques esféricos de almacenamiento de NGL, hasta que el tanque de acero alcance un nivel de 20%. Una parte de NGL se pierde antes del bombeo, porque, según el procedimiento, antes del bombeo se deben eliminar los hidrocarburos de color negro y agua. De acuerdo al balance de materia en este drenado se pierde el 10% de NGL.

Subsistema de combustión. Este subsistema quema de manera segura los gases que salen del subsistema de acumulación y separación. Esta combustión se realiza en el ground flare.

Alimentadores. El sistema colecta NGL de distintos equipos; sin embargo, los principales alimentadores son las líneas de drenaje de los filtros Peco, filtros Nowata y la línea de ecualización. Los demás alimentadores se desprecian porque la frecuencia de uso es muy baja, de una o dos veces al año con cantidades menores a un barril. Los valores y el comportamiento de estos tres principales flujos se han detallado en el cuarto capítulo, el de procesamiento y análisis de datos.

Equipamiento

1. El sub sistema de colección cuenta con un sistema de líneas tuberías con aislamiento térmico que han sido instaladas a cada equipo con el propósito de coleccionar y transportar el NGL drenado al subsistema siguiente. El subsistema de acumulación y separación cuenta con un tanque de acero con una capacidad de 200 barriles.
2. El subsistema de recuperación cuenta con dos bombas centrífugas una en servicio y otra en stand by, y una línea tubería para transportar e inyectar los líquidos al proceso.
3. El subsistema de combustión cuenta con tuberías para transportar los gases a ser quemados en el ground flare, el ground flare cuenta con quemadores donde se queman los gases de desecho.

Personal

La operación de este sistema lo realiza una sola persona, quien solo interviene en la operación de recuperación. El resto de las operaciones son automáticas. Asimismo, esto

no se lleva a cabo todos los días y en tiempo toma menos de una hora realizar esta operación.

2.1.1 Localización

El sistema drenaje frío cerrado a través de su sub sistema de colección recorre toda la planta, específicamente en donde existen equipos que contienen líquidos presurizados, los mismos que incluyen gases de GLP. El subsistema de acumulación y separación se encuentra ubicado en un lugar separado de la planta, junto con el subsistema de recuperación, (véase la Figura 9).

El subsistema de combustión se realiza en el ground flare. Este sistema está ubicado en un lugar alejado y aislado de la planta debido a su peligrosidad ante la presencia de llama abierta frente a cualquier fuga de gas.

Los tres puntos de pérdidas se localizan en el sistema de Medición y almacenamiento de NGL. Este sistema se encuentra al inicio de la planta, tal como se evidencia en la Figura 7, porque el NGL es la materia prima y previo a su ingreso al proceso antes descrito debe ser filtrado, medido y almacenado.

Tal como se puede ver en la Figura 9, los filtros Peco están en el filtrado antes del almacenamiento de NGL, los filtros Nowata, en el filtrado después del almacenamiento de NGL y la línea de ecualización pertenece a los tanques esféricos de almacenamiento de NGL para ecualizar las presiones entre tanques.

2.2 Problema de Investigación

¿Es posible incrementar el porcentaje de recuperación de NGL en el sistema de drenaje frío cerrado y obtener beneficios económicos?

2.3 Objetivos de Investigación

2.3.1. General

Elaborar propuestas de mejora en el sistema de drenaje frío cerrado para aumentar la recuperación de NGL y simular el impacto de estas mejoras.

2.3.2. Específicos

1. Modelar el sistema actual y el sistema mejorado con el software Stella.

2. Elaborar un estudio técnico del impacto al ambiente por la quema de los hidrocarburos gaseosos que desechamos.
3. Determinar el equipamiento para el nuevo sistema.
4. Elaborar la viabilidad técnica y económica de la propuesta.
5. Desarrollar un nuevo procedimiento operativo para el cambio de elementos filtrantes y el purgado de la línea de ecualización.

2.4 Justificación de Investigación

La mejora justifica su ejecución porque generará en primer lugar un ahorro para la empresa, puesto que disminuirán sus pérdidas de NGL en 2,419.7 barriles al año. En segundo lugar, se dejarán de emitir 702.61 toneladas de CO₂ porque se quemarán menos gases de desecho.

2.4.1 Justificación Teórica.

Con la presente investigación se ha brindado a la comunidad estudiantil conocimientos e información de la ingeniería industrial para ser aplicados en el sector de hidrocarburos. Asimismo, se han expuesto herramientas como la filosofía de la Eficiencia Global de los Equipos (OEE) y la simulación de procesos industriales, entre otros.

Por otro lado, se han expuesto marcos teóricos relacionados a la teoría de Bernoulli, dinámica de fluidos, composición y densidad del NGL.

Parte de esta investigación ayudará a la comunidad estudiantil interesada en el tema de cómo se aplican estas diferentes herramientas en el sector Hidrocarburos, ya que muchas de estas teorías fueron aplicadas para dar una propuesta de mejora. Además, cabe resaltar que este estudio es una evidencia para la comunidad de que con creatividad sumada a la tecnología se pueden obtener rentabilidades a bajo costo.

1.4.2. Justificación práctica.

Se ha propuesto la recuperación del 80% del volumen de NGL drenado y purgado de los filtros, y el 100% de los líquidos de la línea de ecualización. Se deben procesar, de acuerdo a la investigación, 2,419.7 barriles anuales adicionales, los mismos que se recuperarían luego de las mejoras.

1.4.3. Justificación Social.

Se disminuirá el impacto al medio ambiente, puesto que se dejarán de emitir 702.61 toneladas anuales de gases de efecto invernadero, como por ejemplo el CO₂ e hidrocarburos gaseosos.

1.5. Alcances de la Investigación

Según (Roberto Hernández Sampieri, 2010) el alcance de la investigación será correlacional, puesto este permitirá establecer predicciones, explicaciones y cuantificaciones de las variables de estudio. Asimismo, esta investigación ha propuesto una mejora básica, la misma que no implica una prueba de campo, ni entrega de llave en mano.

Cabe destacar que en esta tesis se ha cuantificado y han analizado las variables del tema en investigación, el volumen de NGL drenado, el volumen de NGL que se pierde, el volumen de NGL que se recupera y las toneladas de CO₂. Con estas variables se predijo la recuperación de NGL, la rentabilidad económica y se demostró con teorías experimentadas en campo que es posible realizar la mejora propuesta.

1.6. Viabilidad del Estudio

Se cuenta con disponibilidad de recursos materiales, financieros y sobre todo humanos para la investigación. En cuanto a los materiales, la necesidad de una computadora para la edición, simulación y búsqueda de la información vía internet para la tesis se encuentran costeadas.

Por otro lado, para realizar el estudio de la problemática, la empresa petrolera permitió realizar el estudio y analizar en campo con el objetivo de dar propuestas de mejora. También brindó los datos primarios para llevar a cabo la simulación y demostración de la viabilidad técnica de las propuestas.

CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA DE ESTUDIO:

Recolección de datos y definición de variables de estudio

En el presente estudio la metodología recomienda utilizar un enfoque cuantitativo. Según (Roberto Hernández Sampieri, 2010) se necesita cuantificar el volumen de NGL drenado, el volumen de NGL que se pierde, el volumen de NGL que se recupera y las toneladas de CO₂ generadas. Por último, se deberá calcular el impacto económico que genera.

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de estudio que aplicaremos no es experimental, puesto que no se manipularán variables independientes para ver un cambio en la variable dependiente, tal como lo propone Hernández (2010). En esta investigación el fenómeno ya existe; lo que se debe medir es el valor de la variable dependiente con el propósito de demostrar que, la realización de una mejora de la producción.

3.2. Población y muestra

3.3.1 Descripción de la población

Para el presente estudio la población se encuentra constituida por todos los filtros que se cambiaron y los elementos filtrantes desde los meses de enero a diciembre del año 2017 y todas las purgas de línea de ecualización de esferas.

3.3.2 Selección de la muestra

Según John W. Creswell, el muestreo por conveniencia se define como un muestreo cuantitativo en la cual el investigador selecciona a las muestras dispuestas y disponibles para ser estudiados esto según la fuente (Rose M. Vicenty Colon). Mediante el tipo de muestreo mencionado se seleccionó como muestra de los filtros a los cuales se les realizó cambios de elementos filtrantes durante todo el año 2017. Para el caso de la línea de

ecualización de esferas, la empresa llevó a cabo un estudio y determinó la frecuencia óptima de drenado.

3.3. Recolección de datos

Tabla 2.

Cantidad de los Filtros Peco y Nowata Intervenidos de Enero a Diciembre del Año 2017.

Fecha	Filtros Peco	Filtros Nowata	Fecha	Filtros Peco	Filtros Nowata	Fecha	Filtros Peco	Filtros Nowata
02/01/2017	3	0	21/04/2017	3	1	23/08/2017	3	2
07/01/2017	3	0	23/04/2017	3	0	27/08/2017	3	0
11/01/2017	3	0	25/04/2017	3	2	02/09/2017	3	2
13/01/2017	3	0	27/04/2017	3	0	04/09/2017	3	0
15/01/2017	0	2	01/05/2017	3	0	07/09/2017	3	0
16/01/2017	3	0	02/05/2017	3	0	10/09/2017	3	0
22/01/2017	3	0	05/05/2017	3	2	12/09/2017	3	2
26/01/2017	3	0	08/05/2017	3	0	15/09/2017	3	0
28/01/2017	0	1	17/05/2017	2	2	17/09/2017	0	2
05/02/2017	3	0	19/05/2017	3	0	20/09/2017	3	2
07/02/2017	3	2	22/05/2017	3	2	24/09/2017	3	2
08/02/2017	3	0	25/05/2017	0	0	26/09/2017	3	0
09/02/2017	3	0	26/05/2017	3	0	30/09/2017	3	2
12/02/2017	0	2	03/06/2017	3	0	03/10/2017	3	0
13/02/2017	2	0	08/06/2017	3	2	10/10/2017	3	0
14/02/2017	0	2	12/06/2017	3	0	15/10/2017	3	0
17/02/2017	3	0	16/06/2017	3	0	19/10/2017	3	2
20/02/2017	3	0	18/06/2017	3	0	21/10/2017	3	0
21/02/2017	0	2	19/06/2017	3	0	23/10/2017	3	0
28/02/2017	3	2	20/06/2017	3	2	24/10/2017	3	0
03/03/2017	3	0	23/06/2017	3	0	27/10/2017	3	3
06/03/2017	1	0	24/06/2017	3	0	01/11/2017	3	0
08/03/2017	3	0	26/06/2017	3	0	05/11/2017	3	0
09/03/2017	3	0	27/06/2017	0	2	06/11/2017	0	1
10/03/2017	0	3	02/07/2017	3	0	13/11/2017	3	0
12/03/2017	3	0	03/07/2017	3	2	19/11/2017	3	0
13/03/2017	3	0	08/07/2017	3	0	21/11/2017	1	0
17/03/2017	3	2	15/07/2017	3	0	23/11/2017	3	2
18/03/2017	2	0	16/07/2017	3	2	25/11/2017	2	0
20/03/2017	3	0	21/07/2017	3	0	28/11/2017	3	0
21/03/2017	3	0	22/07/2017	3	0	30/11/2017	3	0
25/03/2017	3	0	24/07/2017	2	0	01/12/2017	0	2
28/03/2017	3	2	28/07/2017	3	2	04/12/2017	3	0
30/03/2017	3	0	31/07/2017	3	1	09/12/2017	3	0
02/04/2017	3	0	02/08/2017	3	0	10/12/2017	3	0
04/04/2017	3	0	05/08/2017	3	0	12/12/2017	0	2
07/04/2017	0	2	08/08/2017	1	0	13/12/2017	3	0
08/04/2017	3	0	12/08/2017	0	3	15/12/2017	3	0
10/04/2017	3	0	14/08/2017	3	0	18/12/2017	2	2
13/04/2017	3	0	15/08/2017	3	0	23/12/2017	3	0
16/04/2017	2	0	18/08/2017	3	0	29/12/2017	3	0
20/04/2017	3	2	20/08/2017	3	0			

Datos encontrados para los filtros Peco y Nowata. Los datos presentados en la Tabla 2 corresponden a la toma de resultados que se realizó durante todo el año 2017, cada vez que se ejecuta un cambio de elementos filtrantes a la cantidad de filtros, tanto Peco como Nowata, los mismos que se drenaron para llevar a cabo el cambio de los elementos filtrantes.

Los datos representan la cantidad de filtros que se intervino en un día y de cada oportunidad que se intervino a los filtros.

Datos encontrados para la línea de ecualización. Los datos que se encontraron se exponen en la Tabla 3 y la frecuencia de drenado y purgado es de 11 días por mes o una drenada cada 65 horas. Para hallar esta frecuencia la empresa realizó un estudio y halló que el tiempo óptimo entre un drenado y otro de esta línea es cada 65 horas. Según la empresa, este estudio se realizó mediante ensayos de prueba y error.

Este drenado se hace con el objetivo de mantener la condición operativa de qué los niveles en las esferas se encuentren ecualizados. El tiempo óptimo entre un drenado y otro es aquel que sea el máximo, pero manteniendo ecualizado los niveles de las esferas. Por otro lado si se drena más seguido las esferas estarán más ecualizadas pero las pérdidas aumentarán.

Lo que falta hallar es el volumen drenado, volumen que es constante porque según el procedimiento indica dejar abierta una válvula por 15 minutos y la frecuencia entre un drenado y otro es constante.

Tabla 3.

Datos de la Línea de Ecualización.

Longitud y diámetro de la línea	
Diámetro (Φ)	6 pulgadas
Longitud	238.8 metros
Características de la bota	
Diámetro (Φ)	4 pulgadas
Longitud primer tramo	1.55 metros
Diámetro (Φ)	2 pulgadas
Longitud segundo tramo	2.1 metros

3.3.1. Definición operacional de variables del DFC

Las variables operacionales son cuatro: (a) El volumen de NGL drenado (VD); (b) El volumen de NGL que se pierde (VP); (c) El volumen de NGL que se recupera (VR) y (d) Las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

1. El volumen de NGL drenado es la sumatoria de NGL drenado en los tres puntos principales usuarios.
2. El volumen de NGL que se pierde es la parte de NGL que se pierde de todo el volumen de NGL drenado.
3. El volumen de NGL que se recupera es la parte de NGL que se recupera de todo el volumen de NGL drenado.

Finalmente, las toneladas de CO₂, es la cantidad de CO₂ que se produce y emite al ambiente al quemar los gases del NGL perdido.

Variables Independientes. Las variables independientes son tres: (a) La cantidad (número) de filtros que se drenó para cambio de elementos filtrantes; (b) La frecuencia de drenado para cambio de elementos filtrantes y (c) La frecuencia de purga de la línea de ecualización. Cabe destacar que estas son Las variables independientes ya que no se pueden controlar.

Variables Dependientes. Las variables dependientes son (a) El volumen de NGL drenado (VD); (b) El volumen de NGL que se pierde (VP); (c) El volumen de NGL que se recupera (VR) y (d) Las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente. Esto porque el volumen drenado (VD) es una variable que mantiene una relación directamente proporcional al número de los filtros que se intervino y la tasa de intervención para cambio de elementos filtrantes, ya que si existen más filtros intervenidos o si se interviene con mayor frecuencia, se drenará y purgará más NGL o viceversa.

El volumen recuperado (VR), el volumen perdido (VP) y las toneladas de CO₂ dependen o aparecen cuando hay NGL drenado, por lo que es recomendable drenar lo mínimo indispensable.

CAPÍTULO IV:

PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS:

Tratamiento estadístico de datos y determinación de distribución de probabilidad

En este punto del desarrollo de la tesis, como su nombre lo indica, se ha procesado y analizado mediante un tratamiento estadístico los datos obtenidos; luego, se han hallado los valores que permitieron inferir y construir modelos para simular con el software Stella 9.0.2. Con estos datos se encontró el valor de las variables: (a) El volumen de NGL drenado, (b) el volumen de NGL que se pierde, (c) el volumen de NGL que se recupera y (d) las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

Flujo de NGL en el sistema DFC

El flujo de NGL en el sistema DFC presenta un comportamiento pulsante, ya que es la sumatoria de los tres flujos individuales de los tres alimentadores, y estos últimos también muestran un comportamiento pulsante. Para más detalle de una función pulsante ver el Anexo K. A continuación, se ha realizado la definición matemática del flujo de NGL en el sistema DFC.

VD = Volumen de filtros Peco + Volumen de filtros Nowata + volumen de la línea de ecualización.

$$VD = \text{pulso}(6.3C_p, 2, F_p) + \text{pulso}(7.9C_n, 4, F_n) + \text{pulso}(8.3, 1, 2.7)$$

Donde:

C_p = cantidad de filtros Peco intervenidos (1; 2 o 3)

F_p = Frecuencia de drenado en días de los filtros peco (1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 y 10)

C_n = cantidad de filtros Nowata intervenidos (1; 2 y 3)

F_n = Frecuencia de drenado en días de los filtros Nowata (1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 10; 11; 12; 13; 14 y 17).

La constante del primer término de cada función pulso (6.3, 7.9 y 8.3) son los volúmenes que cada filtro Peco, filtro Nowata y la línea de ecualización respectivamente.

Para ver detalle del cálculo de estas constantes ver Anexos C y D, respectivamente. El segundo valor de cada función pulso que es una constante (2; 4 y 1) son los días en el cual empezará el primer pulso. Al término de la tercera función pulso 2.7 es la frecuencia de drenado de la línea de ecualización. Como se puede ver el flujo de NGL en el DFC será pulsante porque es la suma de los tres flujos individuales también pulsantes.

Cada flujo individual es una función pulsante de tres términos, en donde el primero es el tamaño del pulso; el segundo, es el día en el cual aparecerá el primer pulso y el tercero es la frecuencia con la que aparecerá este pulso. Para este caso el flujo de la línea de ecualización es determinístico; esto quiere decir que ya sabemos el tamaño del pulso y la frecuencia de este pulso, dicho en otras palabras, sabemos cuántos barriles de NGL se drenarán y cada cuánto tiempo.

No obstante, para el flujo de los filtros Peco y Nowata son probabilísticos, esto quiere decir que, para el caso de los filtros Peco el tamaño del pulso depende de C_p y el valor que toma C_p depende de una distribución probabilística; lo mismo ocurre con F_p la frecuencia que aparecerá cada pulso obedece a una distribución de probabilidad. El flujo de los filtros Nowata se comporta de manera similar al flujo de los filtros Peco con sus propios valores. A continuación, vamos a describir cómo se comporta cada uno de los tres flujos individuales, así como también sus respectivas distribuciones de probabilidad.

Flujo de los filtros Peco.- La función matemática es la siguiente:

$$FfP = \text{pulso} (6.3C_p, 2, F_p)$$

En esta ecuación se puede ver que el flujo de los filtros peco (FfP) es una función matemática pulsante de tres términos, en donde el primero representa los barriles de NGL que enviara al DFC o el tamaño del pulso; el segundo término indica que el pulso aparece al segundo día de empezado el estudio, y el tercer término nos dice después de cuántos días se volverá a intervenir los filtros o después de cuántos días volverá a aparecer el pulso. Tal como se puede ver, en la ecuación los barriles que enviara los filtros Peco al DFC lo determina el primer término, el cual es 6.3 multiplicado por C_p , en el cual C_p es un valor probabilístico y puede tomar tres valores probables. La probabilidad de que tome cada valor se presenta en la Tabla 4 y en la Figura 12 se muestra la distribución de probabilidad encontrada.

Para el caso del tercer término de la función, F_p es el que determina después de cuántos días se volverá a intervenir los filtros Peco, y F_p es un valor probabilístico, el cual puede tomar nueve valores. La probabilidad que tome cada valor se presenta en la Tabla 5.

A continuación, se presenta y se describen las Tablas 4 y 5 y la determinación de la distribución de probabilidad de C_p y F_p mediante las Figuras 11 y 12.

Con los datos tomados en la Tabla 2 se construye la Tabla 4, en la que se puede apreciar que, en la primera columna se colocaron los tres valores probables de filtros a intervenir; en la segunda columna se ubicó la frecuencia absoluta de aparición de cada valor en todo el año 2017, y en la tercera se pueden ver las probabilidades que pueda salir cada uno de estos tres valores. Con un ejemplo se ha explicado la interpretación de la Tabla 4 se puede observar que durante el año 2017 de las 111 intervenciones 101 veces se intervino a tres filtros Peco y estas 101 intervenciones se dividieron entre las 111 intervenciones, lo que nos da una probabilidad del 91% de que la siguiente intervención se intervenga a tres filtros Peco.

Tabla 4.

Cálculo de la Distribución de Probabilidad de la Cantidad de Filtros Peco Intervenidos.

X (Filtros Peco)	Frecuencia Absoluta	Función de Probabilidad $f(x)$
1	3	0.03
2	7	0.06
3	101	0.91
Valor esperado		2.9
Desviación Estándar		0.4

Con la data presentada en la Tabla 2 y mediante la diferencia de días entre una fecha de intervención y otra se hallaron nueve frecuencias de intervención, dichas frecuencias se colocaron en la primera columna de la Tabla 5. En la segunda columna se colocó la frecuencia absoluta de la repetición de cada frecuencia en todo el año 2017, y en la tercera se pueden ver las probabilidades que puedan salir cada uno de estos nueve valores. Con un ejemplo se ha explicado la interpretación de la Tabla 5. Asimismo, se puede ver que durante el año 2017 de las 111 intervenciones 16 veces se intervino a los

filtros Peco cada cuatro días y estas 16 veces divididas entre las 111 intervenciones nos da una probabilidad del 14% de que la siguiente intervención en los filtros Peco sea en cuatro días.

Tabla 5.

Cálculo de la Distribución de Probabilidad de la Frecuencia de Intervención de Filtros Peco.

X (días de Filtros Peco)	Frecuencia Absoluta	Función de Probabilidad f(x)
1	19	0.17
2	26	0.23
3	27	0.24
4	16	0.14
5	11	0.10
6	5	0.05
7	2	0.02
8	3	0.03
10	2	0.02
Valor esperado	3.2	
Desviación Estándar	1.9	

Tal como se puede ver los datos de la Tabla 2 son discretos, por lo que se ha trabajado con distribuciones discretas. Ahora bien, con la ayuda del software estadístico Minitab 16 se ha hallado la distribución de probabilidad de la cantidad de filtros Peco intervenidos (Cp) en un cambio de elementos filtrantes. Para determinar la distribución de probabilidad de Cp se realizó mediante comparación gráfica entre el histograma de Cp y una distribución teórica, por lo que en la Figura 11 se puede ver un histograma hecho con los datos de la Tabla 2 en el software estadístico Minitab 16, para la intervención de los filtros Peco. En el eje horizontal se han colocado los valores probables que pueden tomar una intervención en los filtros Peco, y en el eje vertical la frecuencia que se repitió cada uno de los valores probables.

Luego, con los datos que se usó para construir el histograma de la Figura 11 se construyeron las gráficas con distribuciones de probabilidad discretas típicas y teóricas no

se asemejó a ninguna. Por sugerencia de estadistas se decidió realizar la comparación gráfica con una distribución discreta, la que dio un resultado de semejanza. Por lo tanto, se optó por aplicarle una distribución discreta. Tal como se puede ver en la Figura 12 se presenta la gráfica de una función discreta teórica y sí se asemeja a la Figura 11 que es el histograma de los filtros Peco. Con ello se concluye que la distribución de probabilidad para la cantidad de intervención de filtros Peco (C_p) tiene una distribución discreta.

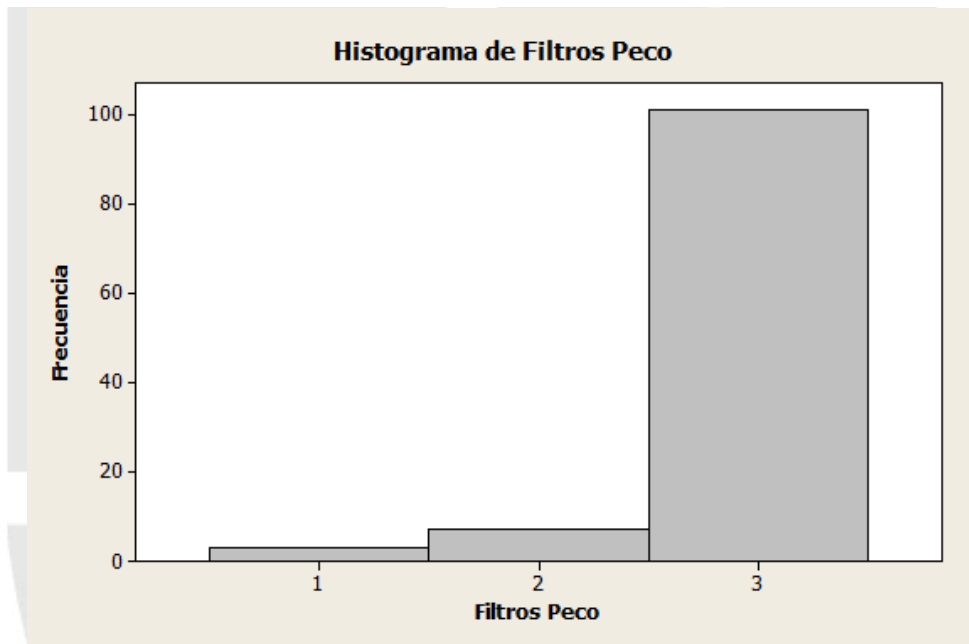


Figura 11. Histograma de datos de los filtros Peco.

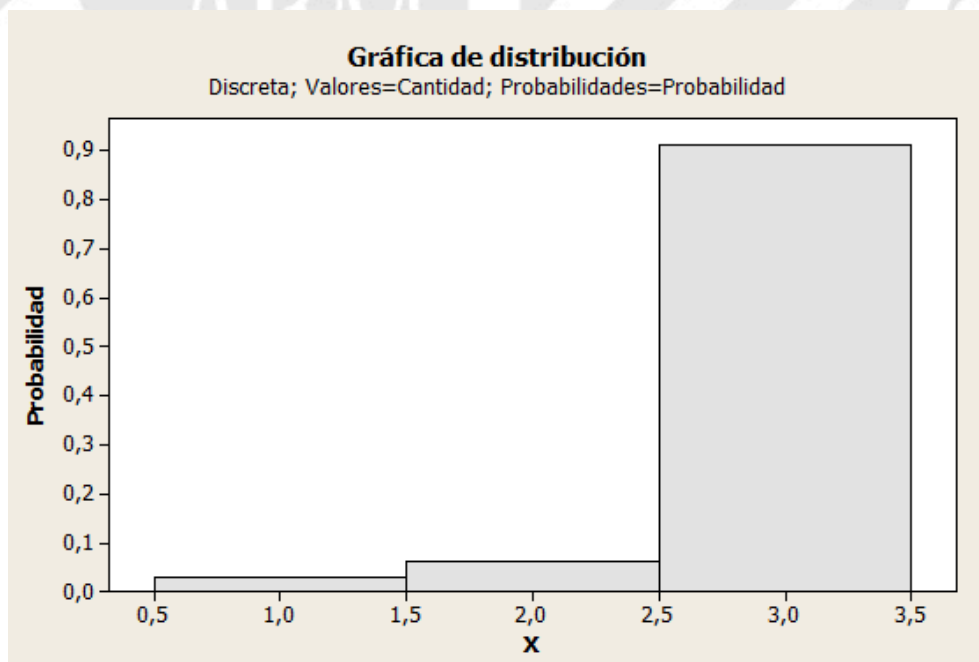


Figura 12. Gráfica de distribución discreta teórica de los filtros Peco.

De la misma manera que se determinó la distribución de probabilidad de Cp se hizo con la distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de los filtros Peco (Fp), y se determinó también que posee una distribución discreta, para más detalle observarel Anexo M. Finalmente, se determinó que la función matemática del flujo de los filtros Peco es de pulso probabilístico discreto y de frecuencia probabilística discreta, ya que ambos presentan una distribución de probabilidad discreta.

Flujo de los filtros Nowata.- La función matemática es la siguiente:

$$FfP = \text{pulso}(7.9Cn, 4, Fn)$$

En esta ecuación se puede ver que el flujo de los filtros Nowata (FfN) es una función matemática pulsante de tres términos, en donde el primero representa los barriles de NGL que enviará al DFC o el tamaño del pulso; el segundo término indica que el pulso aparece al cuarto día de empezado el estudio, y el tercero nos dice después de cuántos días se volverán a intervenir los filtros o después de cuántos días volverá a aparecer dicho pulso. Tal como se puede ver en la ecuación, los barriles que enviara los filtros Nowata al DFC lo determina el primer término el cual es 7.9 multiplicado por Cn, en el cual Cn es un valor probabilístico y puede tomar tres valores probables la probabilidad de que tome cada valor se presenta en la Tabla 6 y en la Figura 14 se muestra la distribución de probabilidad encontrada.

Para el caso del tercer término de la función, Fn es el que determina después de cuántos días se volverá a intervenir los filtros Nowata, y Fn es un valor probabilístico el cual puede tomar nueve valores, la probabilidad que tome cada valor se presenta en la Tabla 7.

A continuación, se han presentado y descrito las Tablas 6 y la 7 y la determinación de la distribución de probabilidad de Cn y Fn mediante las Figuras 13 y 14.

Con los datos tomados en la Tabla 2 se ha construido la Tabla 6, en la que se puede apreciar que en la primera columna se colocaron los tres valores probables de filtros a intervenir, en la segunda se colocaron la frecuencia absoluta de aparición de cada valor en todo el año 2017, y en la tercera se pueden ver las probabilidades de que pueda salir cada uno de estos tres valores. Con un ejemplo se ha explicado la interpretación de la Tabla 6. Se puede ver que durante el año 2017, de las 39 intervenciones 32 veces se intervino a dos filtros Nowata y de estas 32 intervenciones divididas entre las 39 intervenciones da una probabilidad del 82% de que la siguiente intervención se intervenga a dos filtros Nowata.

Tabla 6.

*Cálculo de la Distribución de Probabilidad de la Cantidad de Filtros Nowata
Intervenidos.*

X (Filtros Nowata)	Frecuencia Absoluta	Función de Probabilidad f(x)
1	4	0.10
2	32	0.82
3	3	0.08
Valor esperado		2.0
Desviación Estándar		0.30

Con la data presentada en la Tabla 2 y mediante la diferencia de días entre una fecha de intervención y otra se hallaron nueve frecuencias de intervención, dichas frecuencias se colocaron en la primera columna de la Tabla 7; en la segunda columna se ubicó la frecuencia absoluta de la repetición de cada frecuencia en todo el año 2017, y en la tercera columna se pueden ver las probabilidades que pueda salir cada uno de estos trece valores. Con un ejemplo se ha explicado la interpretación de la Tabla 7. Se observa que, durante el año 2017, de las 32 intervenciones, cinco veces se intervino a los filtros Nowata cada 10 días y de estas cinco veces divididas entre las 39 intervenciones da una probabilidad del 13% de que la siguiente intervención en los filtros Nowata sea en 10 días.

Tal como se puede apreciar, los datos de la Tabla 2 son discretos, por lo que se trabajó con distribuciones discretas. Ahora bien, con la ayuda del software estadístico Minitab 16 se ha hallado la distribución de probabilidad de la cantidad de filtros Nowata intervenidos (C_n) en un cambio de elementos filtrantes. Para determinar la distribución de probabilidad de C_n se ha llevado a cabo mediante comparación gráfica entre el histograma de C_n y una distribución teórica, por lo que en la Figura 13 se puede ver un histograma hecho con los datos de la Tabla 2 en el software estadístico Minitab 16, para la intervención de los filtros Nowata. En el eje horizontal se han colocado los valores probables que puede tomar una intervención en los filtros Nowata, y en el eje vertical la frecuencia que se repitió cada uno de los valores probables.

Tabla 7.

Cálculo de la Distribución de Probabilidad de la Frecuencia de Intervención de Filtros Nowata.

X (días de Filtros Nowata)	Frecuencia Absoluta	Función de Probabilidad f(x)
1	1	0.03
2	1	0.03
3	2	0.05
4	2	0.05
5	4	0.10
6	3	0.08
7	4	0.10
10	5	0.13
11	4	0.10
12	4	0.10
13	3	0.08
14	3	0.08
17	3	0.08
Valor esperado	9.2	
Desviación Estándar	4.3	

Posteriormente, con los datos que se usaron para construir el histograma de la Figura 13 se construyeron gráficas que muestran distribuciones de probabilidad discretas típicas o teóricas; en ellas no se asemeja a ninguna. Por sugerencia de estadistas se decidió realizar la comparación gráfica con una distribución discreta. La semejanza entre ellas permitió la aplicación de una distribución discreta. Tal como se puede ver en la Figura 14 se presenta la gráfica de una función discreta teórica y su semejanza a la Figura 13, que es el histograma de los filtros Nowata. Con lo descrito se concluye que la distribución de probabilidad para la cantidad de intervención de filtros Nowata (C_n) tiene una distribución discreta.

De la misma manera en que fue determinada la distribución de probabilidad de C_n se realizó con la distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de los filtros Nowata (F_n), y se estableció además que muestra una distribución discreta. Para mayor información ver las Figuras M3 Y M4. Finalmente, se determinó que la función

matemática del flujo de los filtros Nowata es de pulso probabilístico discreto y de frecuencia probabilística discreta, ya que ambos presentan una distribución de probabilidad discreta.

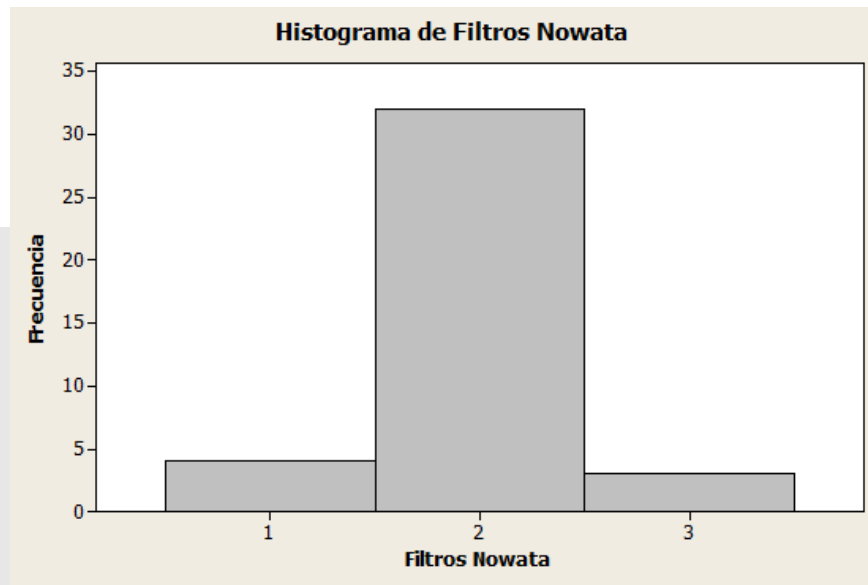


Figura 13. Histograma de datos de los filtros Nowata.

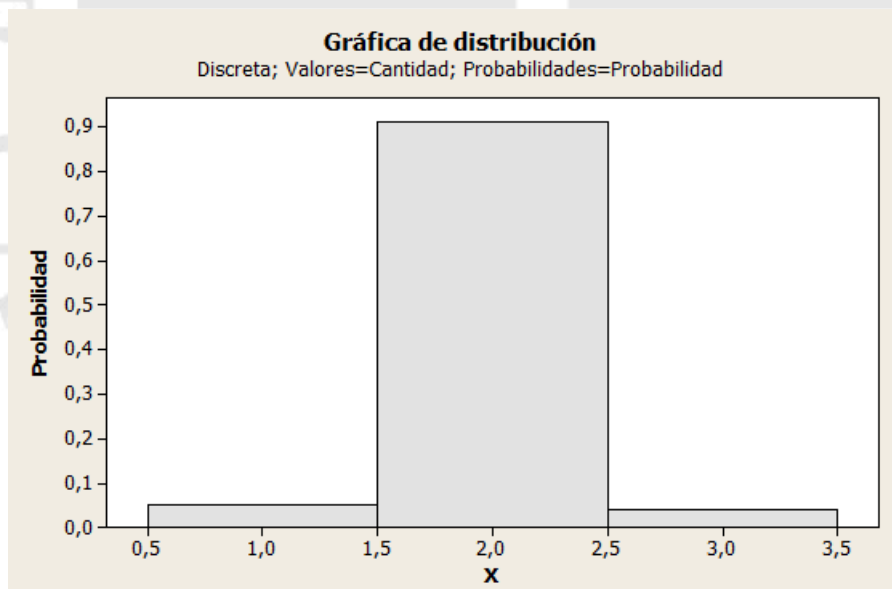


Figura 14. Gráfica de distribución discreta Teórica de los filtros Nowata.

Flujo de la línea de ecualización. Este flujo también es pulsante, puesto que ha dado una función matemática pulsante; sin embargo, a diferencia de los dos primeros; esta es una función pulsante determinística, ya que el volumen a drenar se encuentra determinado (8.3 barriles). Por otro lado, la frecuencia de purgado también está determinada (65 horas).

CAPÍTULO V:

MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE FRIO CERRADO:

Modelo del sistema actual y del sistema mejorado

Según la Figura 2, en vista que no se puede experimentar con el sistema se probó con un modelo. Para la presente investigación no era práctico realizar un modelo físico se determinó la realización de un modelo matemático. Por esta razón, frente a la complejidad del modelo matemático para tratarlo de manera analítica ; se decide tratarlo mediante una simulación. Se realizó un modelo para simular el sistema actual y otro modelo para simular el sistema mejorado con las mejoras propuestas. Para realizar estos modelos utilizaremos el software Stella versión 9.0.2, este software utiliza cuatro elementos para hacer la simulación, y estos son: (a) Stock, (b) Flujo, (c) Convertidor y (d) conector. Para más detalle de cada elemento ver anexo L. A continuación, identificaremos en los modelos a los elementos del software Stella.

Identificación de stocks, flujos, convertidores y conectores en nuestros modelos.

Se identificaron los elementos para el modelo del sistema actual y del sistema mejorado. Los stocks son todas las estaciones donde se acumula o consume el NGL. En el modelo actual de la Figura 15 se exponen siete stocks: (a) Acumulador, (b) Ground Flare, (c) Toneladas de CO₂, (d) operación de recuperación, (e) NGL recuperado a esferas, (f) NGL drenado y (g) NGL perdido. Asimismo, a estos Stock se le ha puesto un número, con lo que también se podrán identificar; es decir al Stock acumulador se le podría llamar Stock 1, al Stock toneladas de CO₂ se le podría denominar Stock 3, entre otros. Para el modelo mejorado de la Figura 17 tenemos los mismos siete Stock, pero en adicional se han creado dos stocks ficticios: (a) división P y (b) división N Estos últimos para implementar las mejoras.

Los flujos son todas las tasas de cambio de un stock, ya sea para ingresar o sacar NGL, en el modelo actual de la figura 15 tenemos diez flujos: (a) filtros Peco, (b) línea de

ecualización, (c) filtros Nowata, (d) gases a quemarse, (e) CO₂ al ambiente, (f) NGL a recuperarse, (g) pierde 10%, (h) NGL recuperado, (i) flujo drenado y (j) flujo perdido. Asimismo, a estos flujos se le ha puesto un número, con lo que también se les podría identificar; es decir al flujo filtros Nowata se le podría llamar Flujo 2, al flujo gases a quemarse se le podría llamar flujo 4.

Para el modelo mejorado de la Figura 17 se tiene los mismos diez flujos como el sistema actual, y con la diferencia que se han creado dos flujos ficticios: (a) Flujo inyección Peco, y (b) flujo inyección Nowata. Y el flujo línea de ecualización solo se re direccionó hacia el stock 7.

Los convertidores son todos los elementos que toman datos de entrada y lo manipulan para convertirlo en alguna señal de salida con el fin de controlar un flujo u a otro convertidor determinado. En el modelo actual tenemos ocho convertidores: (a) Randon FP, (b) Frecuencia P, (c) Randon CP, (d) Cantidad P, (e) Randon FN, (f) Frecuencia N, (g) Randon CN, (h) Cantidad N, (i) Frecuencia drenado línea, y (j) volumen línea. De la misma forma que para los flujos y Stocks se ha puesto un número y se podría nombrar por su número respectivo.

También se puede ver en los modelos que existen elementos con el mismo nombre y número, por ejemplo, en el modelo actual de la Figura 15 se clonó al flujo gases a quemarse y ahora se usa como señal de entrada para los flujos de NGL drenado y perdido. A un elemento clonado se le identifica por las líneas punteadas, y el clon tiene las mismas características que el elemento clonado. Para el modelo mejorado, como se puede ver, se han clonado los convertidores del modelo actual, ya que el modelo mejorado debe trabajar con las mismas señales de entrada que el modelo actual.

Los conectores son todas las flechas que permiten a la información pasar entre convertidores; stocks y convertidores; flujos y convertidores. La cabeza de la flecha indica el sentido de la información.

Datos de entrada del sistema.

Tenemos cuatro datos de entrada probabilísticos y cuatro datos de entradas determinísticos para ambos sistemas (actual y mejorado) y esto son:

Datos probabilísticos: (a) Frecuencia de drenado de filtros Peco (Fp), (b) cantidad filtros Peco (Cp), (c) Frecuencia de drenado de filtros Nowata (Fn) y (d) cantidad filtros Nowata (Cn). Estos datos de entrada se han definido en el cuarto capítulo.

Datos determinísticos: (a) volumen de la línea, (b) Frecuencia de drenado de la línea, (c) volumen filtro Peco y (d) volumen filtro Nowata. El cálculo de los valores determinísticos se puede verificar en los Anexos C Y D.

Generación de la distribución de probabilidad discreta.

Dado que el software Stella 9.0.2 no tiene a la distribución discreta como variable de entrada y se han obtenido cuatro datos de entrada probabilísticos discretos se llevaron a cabo la generación de la distribución discreta de cantidad de filtros Peco (C_p) en un cambio de elementos filtrantes. Dicha distribución se generó en tres pasos:

1. Primer paso. En un convertidor se generan números aleatorios uniformemente distribuidos entre cero y uno, tal como se ve en la Figura 15 se creó el convertidor random CP. El convertidor random CP contiene la función RANDOM (0,1) y genera valores entre cero y uno con la misma probabilidad.
2. Segundo paso en otro convertidor se ingresa como una función condicional a (a) los valores probables y (b) su probabilidad de C_p estos datos se visualizan en la tabla 4. Tal como se puede verificar en la figura 15 se creó el convertidor cantidad P, el cual se ingresó la siguiente condicional: IF (Random CP \geq 0,03) THEN (IF(Random CP \geq 0,91)THEN(3)ELSE(2))ELSE(1).
3. Tercer paso se unió ambos convertidores con un conector en donde la dirección de la información va del convertidor random CP al convertidor cantidad P, es decir el convertidor cantidad P es función del convertidor random CP.

Sobre lo descrito en líneas anteriores, el por qué los números aleatorios tienen una misma probabilidad, y así asignar rangos de números aleatorios a valores correspondientes de entradas probabilísticas, de tal manera que la probabilidad de cualquier valor de entrada al modelo de simulación sea idéntica a la probabilidad de su aparición del sistema real. De esta manera, la probabilidad de generar un número aleatorio en cualquier intervalo es igual a la probabilidad de obtener el valor correspondiente de la cantidad de filtros Peco intervenidos en un cambio de elementos filtrantes, por lo que, para generar un valor aleatorio para la cantidad de filtros intervenidos, solo basta con generar un numero aleatorio entre cero y uno.

Por lo tanto, si el número aleatorio es mayor a 0,0 pero menor a 0,03, se define la cantidad de filtros Peco intervenidos igual a 1. Si el número aleatorio es mayor a 0.03 pero menor a 0.09 se define la cantidad de filtros Peco intervenidos igual a 2. Y queda 0,91 para definir que la cantidad de intervenir a los filtros peco sea igual a 3.

Para los tres datos de entrada restantes Fp, Cn y Fn, se generó de la misma manera solo que con sus propios valores y se ingresa al software Stella para la simulación.

Resumen de los datos de entrada del sistema.

1. Cantidad filtros Peco: Distribución discreta de la Tabla 4.
2. Frecuencia de drenado de los filtros Peco: Distribución discreta de la Tabla 5.
3. Cantidad filtros Nowata: Distribución discreta de la Tabla 6.
4. Frecuencia de drenado de los filtros Nowata: Distribución discreta de la Tabla 7.
5. Volumen de cada filtro Peco: 6,3 barriles.
6. Volumen de cada filtro Nowata: 7,9 barriles.
7. Volumen línea: 8.3 barriles.
8. Tasa drenado línea: 2,7 días.

Supuestos.

1. El volumen de materia prima (NGL) que se procesa y la cantidad de contaminantes sólidos se mantienen constantes.
2. La planta procesa una cantidad constante de carga.
3. Los demás flujos de entrada al sistema DFC son despreciables.
4. Las variaciones del volumen en los filtros por variaciones de la temperatura y dilatación metálica se consideran poco significativas.

Descripción del modelo del sistema actual.

Con el modelo del sistema actual buscamos obtener valores de cuatro variables: (a) Cuanto NGL se recupera (b) cuanto NGL se drena, (c) cuanto NGL se pierde y (d) cuánto CO₂ se emite al ambiente. La principal variable o función a obtener es el NGL drenado porque de esta se desprenden las demás funciones. La función matemática se puede ver en el cuarto capítulo. En la Figura 9 se presenta el sistema actual y en la Figura 15 se presenta el modelo de simulación del sistema actual, por lo que se puede usar la Figura 9 para comprender la Figura 15 ya que ambas representan lo mismo, solo que la Figura 9 es más didáctica para comprender el proceso.

En el modelo actual se ha representado el ingreso de NGL al sistema DFC mediante los tres flujos de entrada: filtros Peco, filtros Nowata y línea ecualización. En este punto se

ha indicado la forma como se ingresó el flujo de NGL de los filtros Peco al software Stella 9.0.2 y de los dos flujos restantes se ingresó de manera similar.

En el flujo filtros Peco se ingresa la función pulso con tres términos de la siguiente manera: PULSE (6.3*Cantidad P, 2, Frecuencia P). El primer término nos quiere decir que la cantidad P multiplicada por la constante 6.3 será el tamaño del pulso. El segundo término de valor 2 quiere decir que aparecerá desde el segundo día de simulación, y el tercer término que el pulso volverá a aparecer según la frecuencia P. La constante 6.3 es el volumen del filtro Peco, y la cantidad P y frecuencia P tienen su propia distribución discreta explicada anteriormente.

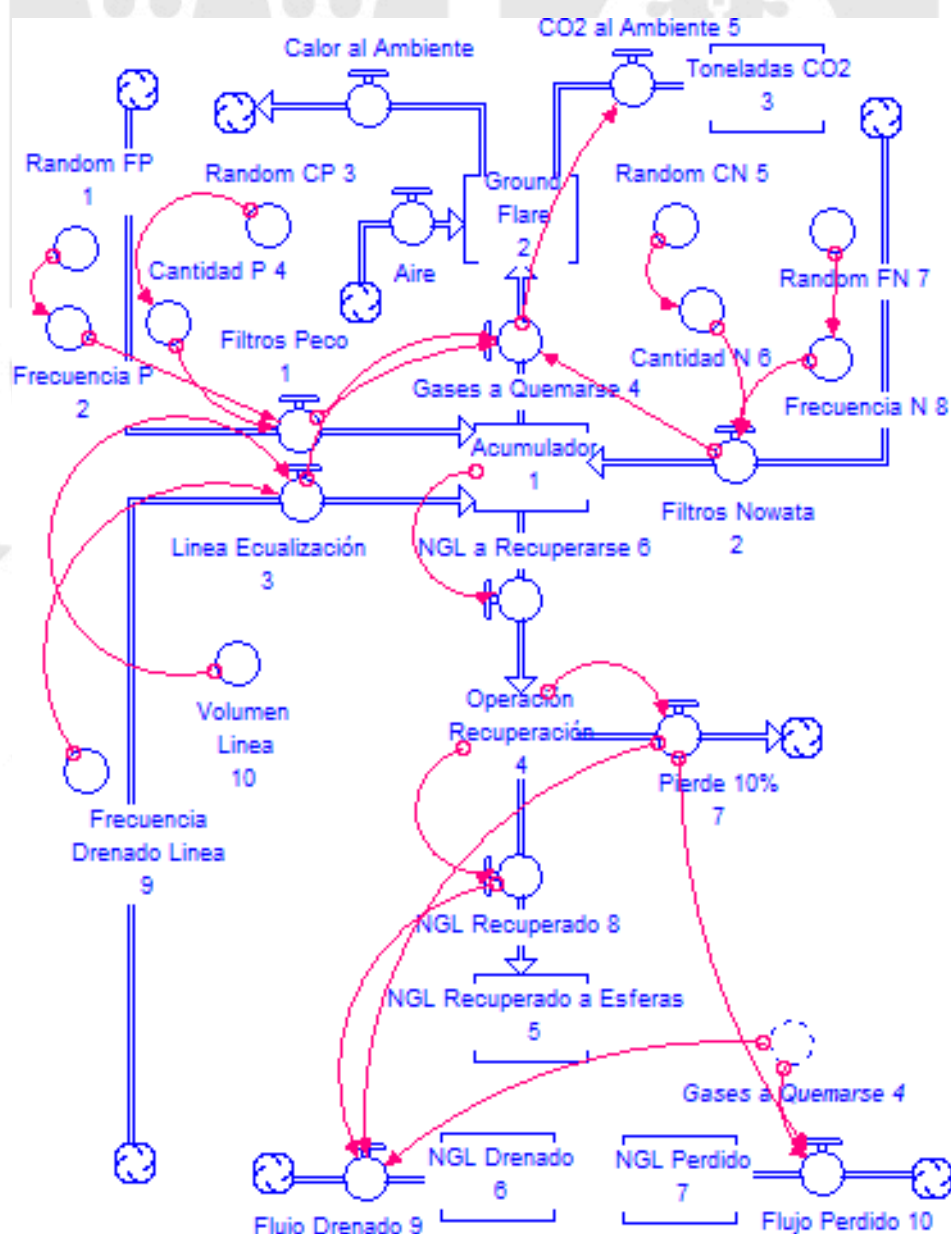


Figura 15. Diagrama del modelo del sistema Actual.

Luego estos tres flujos ingresan al stock acumulador, en donde son separados en hidrocarburos gases y líquidos, el flujo de los filtros Peco y Nowata se divide una parte en líquidos y la parte en gases. Para el caso de la línea todo se vaporiza y se convierte en gases. Una vez separado en dos componentes líquidos y gases, salen del stock acumulador en dos flujos: (a) gases a quemarse y (b) NGL a recuperarse. El stock acumulador inicia con 40 barriles de NGL. Por condiciones operativas del sistema, el nivel mínimo de trabajo es 20%. Luego, el flujo de gases a quemarse en mezcla con aire va a quemarse en el stock ground flare. Este flujo de gases es la sumatoria de (a) flujo línea ecualización, (b) la mitad +/- 10% del flujo filtros Peco y (c) la mitad +/- 10% del flujo filtros Nowata. Asimismo, al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: $(RANDOM(0.45, 0.55)) \text{Filtros Nowata} + (RANDOM(0.45, 0.55)) \text{Filtros Peco} + \text{Linea Ecualización}$.

Del stock ground flare salen CO₂ y calor al ambiente, este stock inicia con cero. Los flujos aire y calor al ambiente no se ingresa ningún valor porque no representa relevancia para la investigación el conocimiento de sus valores.

El flujo CO₂ al ambiente es suma de las toneladas de CO₂ que produce la quema de propano y butano (GLP), ambos valores resultan de la relación molar entre las moles de CO₂ que produce la quema de una mol de propano, y las moles de CO₂ que causa la quema de una mol de butano. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera:

$((((((Gases \text{ a Quemarse} * 0.66) * 158.9 * 1000) * 0.6) / 44) * 3) * 44) / 1000000) + ((((((Gases \text{ a Quemarse} * 0.34) * 158.9 * 1000) * 0.69) / 58) * 4) * 44) / 1000000$.

Para más detalle revisar el Anexo E donde se muestra el cálculo de las toneladas de CO₂ por la quema de GLP. El stock toneladas de CO₂ presenta la suma de todas las toneladas del CO₂ que pasó por el flujo CO₂ al ambiente. Este stock inicia con cero toneladas de CO₂. Por otro lado, el flujo NGL a recuperarse envía los líquidos del stock acumulador al stock operación de recuperación, en donde una parte se inyecta a las esferas y la otra parte se pierde. El flujo de NGL a recuperarse es una condicional, si el stock acumulador llega a 100 barriles de NGL o más extraer 60 barriles. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una función condicional de la siguiente manera: IF (Acumulador >= 100) then (Acumulador - 60) else (0).

La operación de recuperación recibe al flujo NGL a recuperarse, y lo divide en dos flujos: (a) flujo pierde 10% y (b) NGL recuperado. En donde el flujo pierde 10% es el NGL que se pierde en la operación de recuperación, y es la décima parte +/- 10% del NGL en el stock operación de recuperación. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: Operación Recuperación (RANDOM (0.09, 0.11)).

El flujo de NGL restante del Stock operación de recuperación, es recuperado bombeado e inyectado al stock NGL recuperado a esferas.

El stock NGL recuperado a esferas es todo el NGL que recupera el sistema. Este stock inicia en cero barriles y suma todos los barriles de NGL que pasó por el flujo NGL recuperado.

El stock NGL drenado suma a todo el NGL que ingresa por el flujo drenado, en donde el flujo drenado puede expresarse de diferentes maneras para este caso se expresó como la suma de (a) flujo de NGL recuperado, (b) flujo pierde 10% y (c) el flujo gases a quemarse. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: NGL Recuperado + Pierde 10% + Gases a Quemarse.

El stock NGL perdido suma a todo el NGL que ingresa por el flujo perdido, en donde el flujo se expresó como la suma de (a) flujo pierde 10% y (b) el flujo gases a quemarse. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: Pierde 10% + Gases a Quemarse.

Análisis de los resultados del modelo actual.

Después de la simulación con el modelo actual con 365 réplicas de un día cada una y en un rango de 4, 450.3 y 2, 536.7 barriles de NGL drenado obtenemos lo siguiente

1. NGL recuperado: 1 174.21 barriles
2. NGL drenado: 3 829.48 barriles
3. NGL perdido: 2 655.27 barriles
4. Cantidad de CO₂: 762.89 toneladas
5. Porcentaje de recuperación de NGL: 30.7%

Para calcular el porcentaje de recuperación se dividió el volumen de NGL recuperado entre el volumen de NGL drenado y se multiplicó por cien. Para más detalle de resultados ver el Anexo H.

Al analizarse los resultados de la simulación del modelo actual se evidencia que pierde 2,655.27 barriles al año. Esta cifra es un valor cercano al que se presenta en la

Tabla 1 y tiene una diferencia menor a $\pm 5\%$, donde la suma de los tres principales puntos de pérdidas es 2,670.2 barriles al año, por lo que se afirma que los datos de entrada del modelo actual pueden ser usados para realizar un modelo mejorado. Por otro lado, se evidencia un bajo porcentaje de recuperación de NGL en el sistema DFC, por lo que vemos la necesidad de hacer una propuesta de mejora, la misma que permita aumentar el porcentaje de recuperación de NGL y de manera colateral bajar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

Análisis de propuesta de mejora. La propuesta es, para el caso de los filtros Peco y Nowata, antes de drenar al acumulador, inyectar el 85% al proceso y solo drenar el 15% al recipiente. Y para el caso de la línea de ecualización se ha propuesto calentar los líquidos presentes en ella con una corriente de gas propano cliente. En la Figura 16 se pueden ver dos líneas punteadas, las mismas que indican las mejoras que se le haría al sistema actual mostrado en la Figura 9. Como se puede ver, en la Figura 16, la línea de inyección sería una de las mejoras y transportaría directamente a las esferas el 85% del NGL drenado de los filtros y solo el 15% seguiría la ruta actual establecida. Para ver más detalles de cómo funcionaría la línea de inyección, ver el Anexo F3. Por otro lado, la otra línea punteada indica la inyección de gas propano caliente hacia la línea de ecualización, la que vaporizaría el 100% del NGL de la línea de ecualización, evitando de esta manera el drenado. Técnicamente se propone inyectar máximo el 85% de NGL en los filtros, porque el 15% restante asegura que no ingresará nitrógeno al proceso. La cifra de 85% se menciona en el artículo 142 del decreto supremo N° 27-94-EM publicado el año 2015, donde se indica que la cantidad máxima en el contenedor es 85%. Y en la línea de ecualización se recuperará el 100 %, puesto que no se purgará ningún elemento más y el propano que ingrese se quedará en el mismo proceso. Para más detalle de las propuestas de mejora revisar el Anexo F. A continuación, se describirá el modelo del sistema mejorado con la propuesta, y posteriormente se analizará y comparará con los resultados del modelo actual, esto con la finalidad de ver el impacto de las mejoras.

Descripción del modelo del sistema Mejorado. Los supuestos y datos de entrada se mantienen igual que los datos del sistema actual, ya que queremos saber qué sucede con las condiciones actuales de drenado y al realizarle las mejoras, cómo cambian las variables de estudio. Para ello se clonó los valores de los tres alimentadores al sistema DFC. Para

describir el modelo del sistema mejorado se ha hecho uso del modelo del sistema actual, ya que muchos datos son los mismos; y, por otro lado, permite comparar y ver en dónde se llevaron a cabo las mejoras. Por lo tanto, se mencionarán y describirán los cambios realizados, y lo que se mantiene igual. Asimismo, se han empleado las Figuras 16 y 17 para describir el modelo mejorado. Para el modelo del sistema mejorado, los tres flujos de entrada se han mantenido con los mismos datos de entrada del modelo del sistema actual, y tal como se puede ver en la Figura 17 se clonaron a sus convertidores que controlan a estos tres flujos. Adicionalmente, no se han cambiado los datos de entrada porque no se han hecho cambios en las variables de entrada. Los cambios se encuentran en sistema DFC. La única diferencia en los flujos de entrada es que reemplazaron la dirección a donde ingresarán los flujos de NGL.

En el caso del flujo línea ecualización como se puede ver en la Figura 17 se re direccionó, y ahora este flujo se envía directamente al stock NGL recuperado en esferas. En el caso de los filtros Peco ahora se envían al stock ficticio división P. Y finalmente, en el caso de los filtros Nowata ahora se envían al stock ficticio división N. Para más detalle de los equipos y líneas que se implementarán para aplicar las mejoras ver el Anexo F y la imagen G2 donde se evidencia el procedimiento mejorado.

Para el caso de los stocks también mantienen las mismas condiciones del sistema actual; sin embargo, a diferencia del modelo actual, en el modelo mejorado para simular las mejoras de los filtros se crearon dos stocks ficticios, que han permitido simular la inyección del NGL al proceso antes de ingresar al stock acumulador, ambos stocks inician en cero.

Entonces los flujos de los filtros Peco y Nowata ingresan a su correspondiente stock ficticio y el 85% se inyecta y el 15% va al stock acumulador. A continuación se describen los cuatro nuevos flujos. Para el caso del NGL del stock ficticio división P se ha separado en dos flujos: (a) drenado Peco e (b) inyección Peco. El flujo drenado Peco lleva el 15% del NGL, y luego ingresa al stock acumulador, donde sigue la misma ruta del sistema actual con las mismas condiciones. Para el flujo drenado Peco al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: División P-División P (Inyección). En el modelo mejorado de la Figura 17 se creó el convertidor Inyección, pero internamente tiene la constante 0.85, así que el segundo término de la ecuación es como decir el 85% del stock División P.

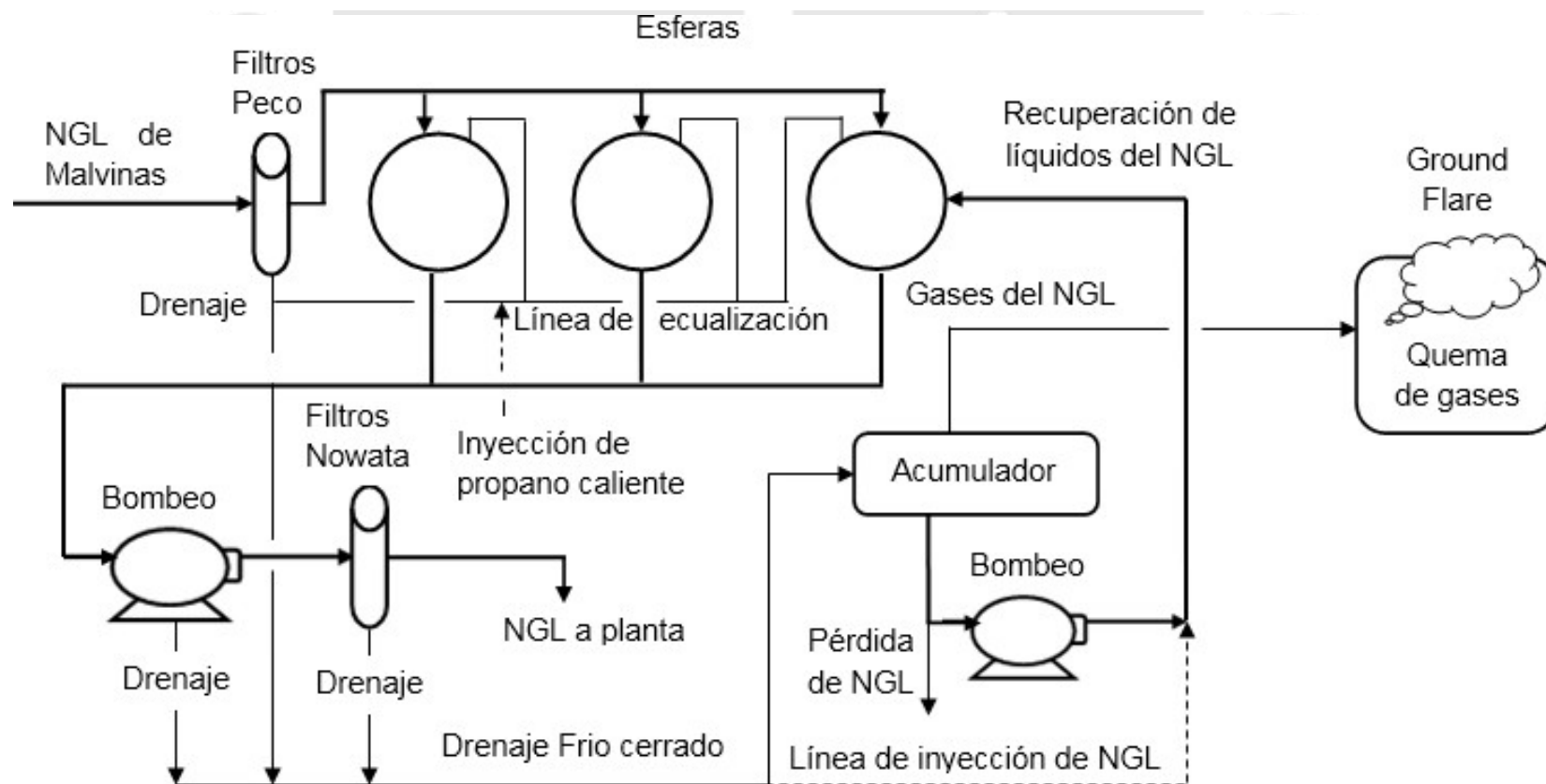


Figura 16. . Diagrama del sistema mejorado.

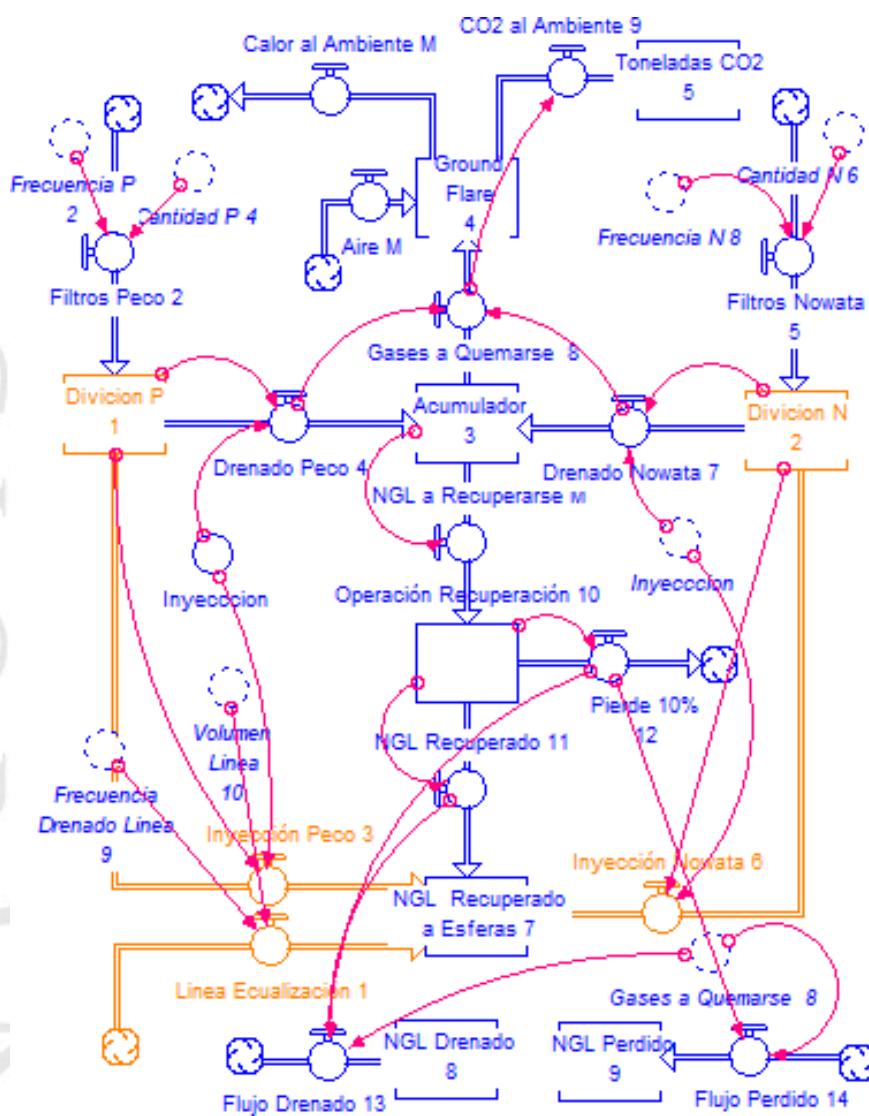


Figura 17. Diagrama del modelo del sistema mejorado.

El flujo inyección Peco, lleva el 85% del NGL del stock división P; luego, es ingresado de manera directa al stock NGL recuperado en las esferas donde termina su función, lográndose recuperar así más NGL. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: División P (Inyección).

Para el caso del NGL del stock ficticio división N, es separado en dos flujos: (a) drenado Nowata e (b) inyección Nowata. El flujo drenado Nowata lleva el 15% del NGL, y luego ingresa al stock acumulador donde sigue la misma ruta del sistema actual con las mismas condiciones. Al software Stella 9.0.2 el flujo drenado Nowata se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: División N- División N (Inyección).

El flujo inyección Nowata, lleva el 85% del NGL del stock división N, y ahora ingresará directamente al stock NGL recuperado en esferas donde termina su función, lográndose recuperar así más NGL. Al software Stella 9.0.2 se ingresa como una ecuación de la siguiente manera: División N (Inyección).

Observando al stock NGL recuperado a esferas en el sistema mejorado, ahora debería obtener un mayor volumen de NGL, ya que le ingresan más flujos. Y Los stocks NGL drenado y NGL perdido, deberían ser menores ya que los flujos les alimentan han disminuido su caudal.

Análisis de los resultados del modelo mejorado.

Después de la simulación con el modelo mejorado para 365 réplicas de un día cada una se ha obtenido lo siguiente

1. NGL recuperado: 3 593.91 barriles
2. NGL drenado: 361.51 barriles
3. NGL perdido: 215.18 barriles
4. Cantidad de CO₂: 60.28 toneladas
5. Porcentaje de recuperación de NGL: 90.9%

Al analizarse los resultados del modelo mejorado, se evidenció un porcentaje de recuperación de NGL mayor a 80% en el sistema DFC. El resultado justifica la propuesta de mejora de la investigación; por ello, en el sexto capítulo se ha descrito cómo es económicamente rentable.

Análisis comparativo entre el modelo actual y el modelo mejorado. Después de haber descrito la evidente diferencia entre el sistema actual con el sistema mejorado se ha comparado los resultados mediante una Tabla y de manera gráfica. En la Tabla 8 se han presentado los resultados luego de la simulación del sistema actual y sistema mejorado para las cuatro variables de estudio en un periodo anual. A continuación se han explicado las diferencias en cada una de las variables de estudio.

Para la primera variable de estudio NGL recuperado, se evidencia que, con el sistema mejorado se estaría recuperando 2,419.7 barriles de NGL adicionales por año.

Para la segunda variable de estudio NGL perdido, se evidencia que con el sistema mejorado se pierden 2,440.09 barriles de NGL menos por año, ya que se evidencia menos pérdida.

Para la tercera variable de estudio NGL drenado, se evidencia que con el sistema mejorado se dejarían de drenar 3,467.97 barriles de NGL por año, ya que se evidencia menor drenado. Por último, la cuarta variable de estudio CO₂ producido, se evidencia que con el sistema mejorado se dejarían de producir 702.61 toneladas de CO₂ menos por año. Todas estas variables oscilan en un rango del 4.7%.

Tabla 8.

Cuadro Comparativo entre Resultados del Sistema Actual vs el Sistema Mejorado.

Cuadro resumen de comparación entre en sistema actual y sistema mejorado					
Rubro	Periodo	Sistema actual	Sistema mejorado	Diferencia	unidades
NGL RECUPERADO					
NGL	Anual	1.174.21	3.593.91	2419.7	Barriles
NGL PERDIDO					
NGL	Anual	2.655.27	215.18	2440.09	Barriles
NGL DRENADO					
NGL	Anual	3.829.48	361.51	3467.97	Barriles
CO ₂	Anual	762.89	60.28	702.61	Toneladas

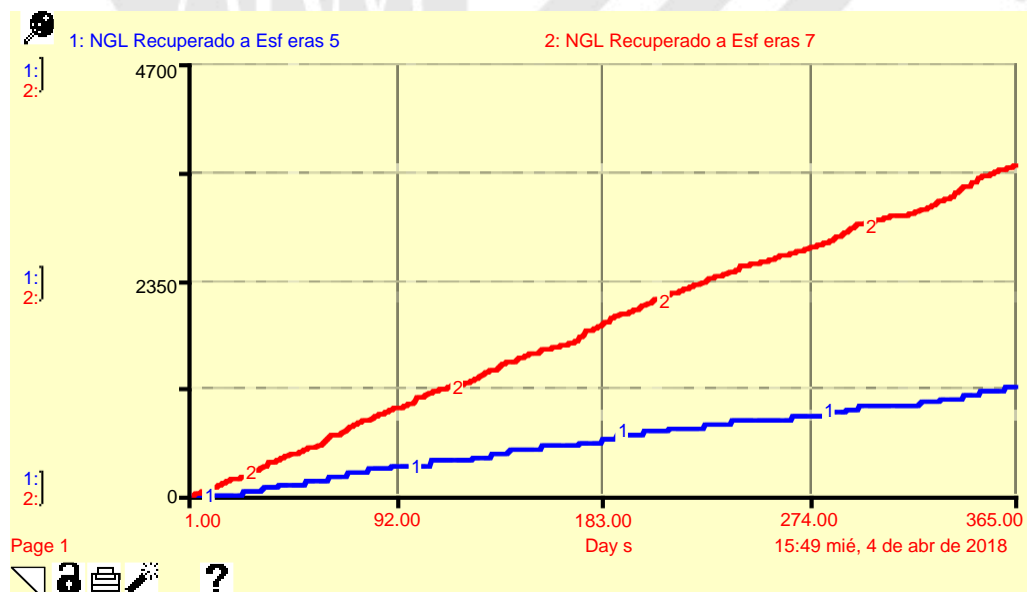


Figura 18. Curvas del NGL en el acumulador.

La comparación de manera gráfica de dos de las variables de estudio se encontró lo siguiente: tal como se puede evidenciar en la Figura 18, en el tiempo y en una misma escala la pendiente de la curva 2 del NGL recuperado del sistema mejorado es mayor a la pendiente la curva 1 del NGL recuperado en el sistema actual, esto indica que el sistema actual posee una mayor recuperación de NGL. Además, se muestra una recuperación adicional de 2,419.7 barriles anuales.

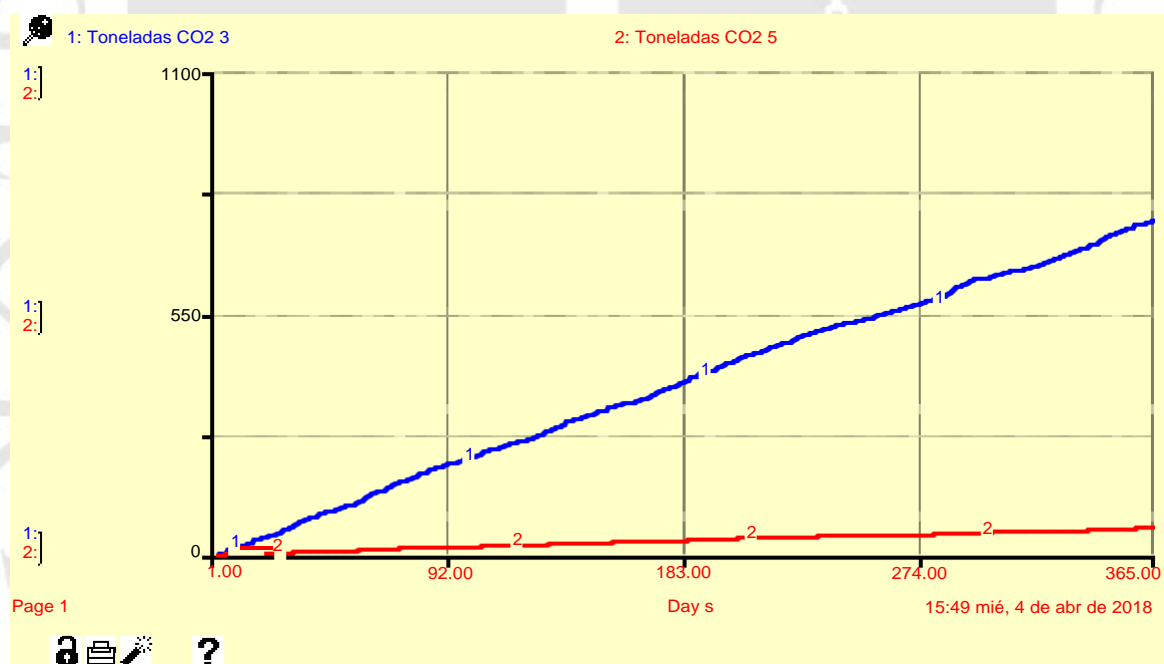


Figura 19. Curvas de las toneladas de CO₂ del sistema actual y mejorado.

Como se puede evidenciar en la Figura 19, en una misma escala y en el tiempo la pendiente de la curva 2 de las toneladas de CO₂ en el sistema mejorado es menor a la pendiente de la curva 1 de las toneladas de CO₂ en el sistema actual, esto nos indica que en el sistema mejorado hay una menor emisión de CO₂ al ambiente. La diferencia entre ambas curvas es de 702.61 toneladas de CO₂ anuales, lo que muestra de que si se ejecutasen las mejoras propuestas se dejarían de emitir 702.61 toneladas de CO₂ anuales.

Análisis de sensibilidad del modelo mejorado. Se hizo la prueba de sensibilidad para la inyección del NGL de los filtros a (a) 70%, (b) 77,5% y (c) 85% de inyección de NGL. Con el objetivo de evaluar cómo afecta al NGL recuperado hacia las esferas, los resultados fueron los siguientes:

1. A 70% de inyección de NGL de los filtros: 3768 barriles de NGL recuperado.
2. A 77.5 % de inyección de NGL de los filtros: 3731 barriles de NGL recuperado.
3. A 85% de inyección de NGL de los filtros: 3594 barriles de NGL recuperado.

Estos resultados se pueden ver en la Figura 20. El software hace una corrida para cada valor y los resultados expresan lo máximo que se puede recuperar con cada porcentaje de inyección de NGL a los filtros.

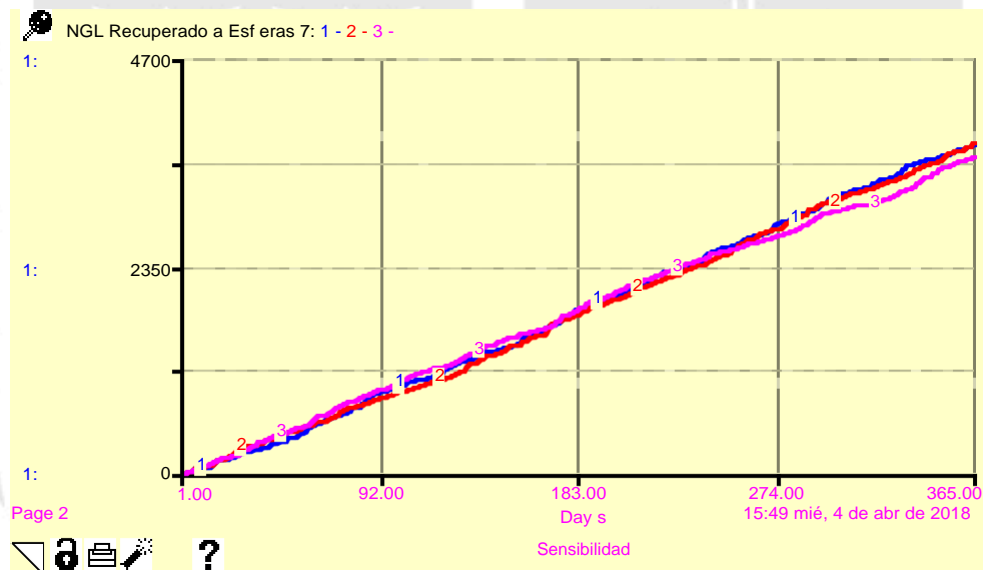


Figura 20. Diagrama del sistema mejorado.

CAPÍTULO VI:

ELABORACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS:

Factibilidad técnica y económica

Para que nuestra tesis sea incuestionable y puesta en práctica, las propuestas también deben ser técnicamente viables y económicamente rentables.

Tesis Cierta = Técnicamente viable y económicamente rentable.

Con la viabilidad técnica se ha demostrado que es posible realizar la propuesta de aumentar la recuperación del NGL en el DFC mediante la inyección del NGL al proceso. Con la viabilidad económica se ha expuesto que es rentable realizar la propuesta.

Viabilidad técnica. En el Anexo F se demuestra técnicamente con cálculos matemáticos la posibilidad de realizar la inyección del NGL al proceso. En dicho anexo se evidencia que, tanto para los filtros Peco como para los Nowata con 130 PSI de manera constante se puede inyectar el NGL al proceso, ya que según la ecuación de Bernoulli es necesaria menor presión. Por otro lado, el proceso está alrededor de 100 PSI.

Para el caso de la línea de equalización la presión del propano caliente está a 200 PSI, con lo que es suficiente para la inyección del NGL al proceso.

Viabilidad económica. En este punto de la viabilidad económica se ha evaluado la rentabilidad de las propuestas y se concluyó si es viable o no. Esto se llevó a cabo mediante el flujo de caja en la Tabla 10. Es importante mencionar que los datos de la inversión, los gastos de mantenimiento y producción fueron proporcionados por la empresa luego de consultar a sus respectivas áreas; sin embargo, no se pudieron obtener detalles.

Para la inversión inicial de la Tabla 9 se consultó al área de logística para el caso de la compra de equipos y materiales, y para la construcción y montaje se consultó al área de

proyectos y mejoras. Se obtuvo el monto total estimado mas no los detalles, con ellos se construyó el flujo de caja.

Antes de la construcción del flujo de caja se desarrolló una Tabla con los tiempos y costos de las actividades principales que realiza normalmente la empresa, para ver y controlar el desarrollo del proyecto. Es importante mencionar que la planta no saldrá fuera de servicio para realizar el proyecto, ya que cuando se ejecute el proyecto se pondrá los filtros en *stand by* para no considerarlo como costo.

Tabla 9.

Cuadro del Detalle de la Inversión.

ACTIVIDADES	DURACIÓN (MESES)							COSTO
	1	2	3	4	5	6	7	US \$
Ingeniería de detalle								\$ 20 000.0
Licitación								\$ 0
Compra de equipos y materiales								\$ 45 625.7
Transporte								\$ 4 562.6
Construcción y montaje								\$ 59 850.0
Comisionado y recepción de proyecto								\$ 0
INVERSIÓN TOTAL								\$ 130 038.3

Para la construcción del flujo de caja se tiene en consideración los siguientes indicadores.

1. Tasa de actualización (COK) del 15%
2. Depreciación lineal para 10 años.
3. Precio 40 dólares americanos por barril.

Cálculo la rentabilidad al recuperar el NGL del drenado.

Tabla 10.

Flujo de Caja.

FLUJO DE CAJA (MUS\$)											
PERIODO	AÑO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	130 038.3										
Inversión Total	130 038.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INGRESOS											
Ahorro por aumentar la recuperación de NGL	0	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788
Otros ingresos	0										
Total Ingresos	0	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788	96788
EGRESOS											
Gastos de Operación	0	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400	6.400
Mantenimiento	0	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Depreciación	0	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004	13 004
Total Egresos	0	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404	25 404
UTILIDAD											
Utilidad Bruta	0	71384	71384	71384	71384	71384	71384	71384	71384	71384	71384
Flujo neto de fondos	-130 038.3	84388	84388	84388	84388	84388	84388	84388	84388	84388	84388
Valor presente	-130 038.3	73.381	63.809	55.486	48.249	41.956	36.483	31.725	27.587	23.988	20859
Valor presente acumulado	-130 038.3	-56.657	7.152	62.639	110.888	152.843	189.327	221.051	248.638	272.626	293486
Periodo Recuperación del Capital, PRC	0	1,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 11.

Indicadores de la Rentabilidad.

INDICADORES	Resultados
Valor Actual Neto (VAN), US\$	293 486
Tasa Interna de Retorno, TIR	64.4%
Periodo de Recupero del Capital (PRC), años	1.9
Beneficio / Costo	2.3

De acuerdo a los indicadores de rentabilidad se determinó que el proyecto es viable económicamente ya que tiene un VAN de 293, 486 dólares. La rentabilidad interna que el proyecto es de 64.4% y la recuperación del capital es pronta ya que se recobrará en solo 1.9 años. Para los cálculos del flujo de caja se calculó por un precio de 40 dólares por barril y un aumento de la recuperación de 2,419.7 barriles al año.

Este volumen de aumento en la recuperación de 2,419.7 barriles al año se obtuvo de los resultados de las simulaciones con el software Stella.

CONCLUSIONES

1. Se llevó a cabo un modelo en el software Stella 9.0.2 para el sistema actual y otro para el sistema mejorado. Luego de la simulación para 365 réplicas se obtuvieron los barriles de NGL que se drenaron, los barriles de NGL que se recuperaron, los barriles de NGL que se perdieron y las toneladas de CO₂ que se emitieron al ambiente. Todo ello para ambos sistemas. Lo descrito permitió comparar ambos sistemas y se concluyó que, de ejecutarse las mejoras se aumentaría la recuperación de NGL en 2,419.7 +/- 4.7% barriles anuales.
2. Al efectuar el estudio técnico del impacto al ambiente por la quema de los hidrocarburos gaseosos que se desecharon, se determinó que se dejarían de emitir 702.61 toneladas anuales de CO₂ al ambiente. Por inyectar el 90.9 % del NGL de los filtros antes de drenar y purgar e inyectar el gas propano caliente para eliminar los líquidos de la línea de ecualización.
3. Se demostró técnicamente la factibilidad de realizar las propuestas de mejora, la de inyectar el NGL de los filtros Peco y Nowata hacia la línea del proceso y la de inyectar propano caliente hacia la línea de ecualización. Para ello se demostró que con 130 PSI se puede inyectar a la línea del proceso que se encuentra a 100 PSI; es decir esta diferencial de presión vence y sobrepasa las pérdidas de presión ocasionada por la fricción, cambio de dirección, entre otros. De la misma manera con 200 PSI se puede inyectar el Propano caliente hacia la línea de ecualización la que está a 60 PSI. Por último, se expuso que son rentables económicamente las propuestas para inyectar el NGL de los filtros hacia la línea del proceso y la inyección de propano caliente hacia la línea de ecualización. Con este volumen adicional de hidrocarburo recuperado cubre y sobrepasa el costo de la implementación.

4. Asimismo, se analizó la rentabilidad y se obtuvo un VAN de 293,486 dólares. La rentabilidad interna que el proyecto es de 64.4% y la recuperación del capital es pronta ya que se recuperará en solo 1.9 años.
5. Para implementar la propuesta de mejora en el caso de los filtros se determinó el equipamiento necesario para tener el sistema mejorado operando, tal como se puede verificar en la Tabla II. Para el caso de la línea de ecualización no es necesario nuevo equipamiento.
6. Al concluir el desarrollo propuesta se elaboraron los nuevos procedimientos: Drenado y purgado los filtros Peco y Nowata, y Purgado de la línea de ecualización. También se realizó un diagrama de flujo para el nuevo procedimiento de purgado y drenado de los filtros.
7. Se llevaron a cabo propuestas de mejora para los tres principales usuarios del DFC. A estas propuestas de mejoras se les hizo un modelamiento en el Software Stella 9.0.2 y se simuló 365 réplicas. Luego de la simulación se ha llegado a la siguiente conclusión: la implementación de las mejoras en los filtros y la línea de ecualización se estima que aumentaría la recuperación en 2,419.7 barriles de NGL al año. Se demostró que técnicamente es viable y económicamente rentable la implementación de las propuestas de mejora. También se describió el DFC con la ayuda del Diagrama de análisis de Procesos (DAP) y se detalló la aplicación de herramientas de ingeniería Industrial al sector Hidrocarburos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar la operación de inyección de NGL en sistemas de filtración de Líquidos de gas natural (NGL) porque disminuyen las pérdidas de NGL que producen a consecuencia del drenado de los filtros para cambio de elementos filtrantes. Esta operación consiste primeramente bloquear ingreso y salida del filtro a intervenir, luego presurizar al filtro para luego proceder a la inyección del NGL al tanque de almacenamiento de NGL por diferencia de presiones. Si se inyecta en vez de drenar y luego recuperar, las pérdidas de NGL disminuyen drásticamente en la operación de filtración porque lo que se inyecta va directamente a planta a procesarse.
2. Recomendamos utilizar la operación de vaporización de hidrocarburos líquidos formados en líneas de ecualización de tanques de almacenamiento presurizado, porque evita el drenado y de esta manera ya no hay drenado alguno para eliminar estos líquidos que impiden fluir los gases que ecualizan las presiones de los tanques.
3. Se recomienda hacer modelos del sistema y simular los cambios que se realiza en sistemas, para si los efectos que se tendrá luego de las mejoras sean soportados por el sistema o cuantificar en cuánto varían los resultados que se obtienen actualmente. Este es una metodología económica y no pone en riesgo las instalaciones por que se experimenta con un modelo.
4. Dependiendo de la coyuntura del sector hidrocarburos y de la política de la empresa muchas veces es recomendable realizar pequeños cambios como los arriba mencionados y muchas veces se obtienen beneficios muy importantes para aumentar la rentabilidad de la compañía.

ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE UN CILINDRO

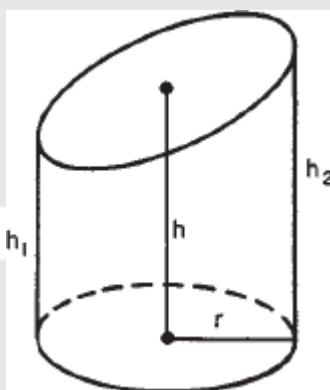


Figura A1. Cálculo del volumen de un cilindro

Volumen = $V = (\text{área de la base}) \cdot (\text{altura})$

Área de la base, la base tiene la forma de un círculo, entonces necesitamos el área de un círculo.

Área de un círculo = $A =$

Por lo tanto volumen de un cilindro: $V = h$; según fuente (Perry, 1999)

Dónde:

= radio de la base del círculo.

= altura del cilindro.

= $\pi = 3.1416$.

ANEXO B. COMPOSICIÓN DE LOS GASES NATURALES Y SUS FRACCIONES

Según la agencia internacional de energía los gases naturales se dividen en fracciones y estas a su vez están formadas por componentes como se verá en la figura B1.

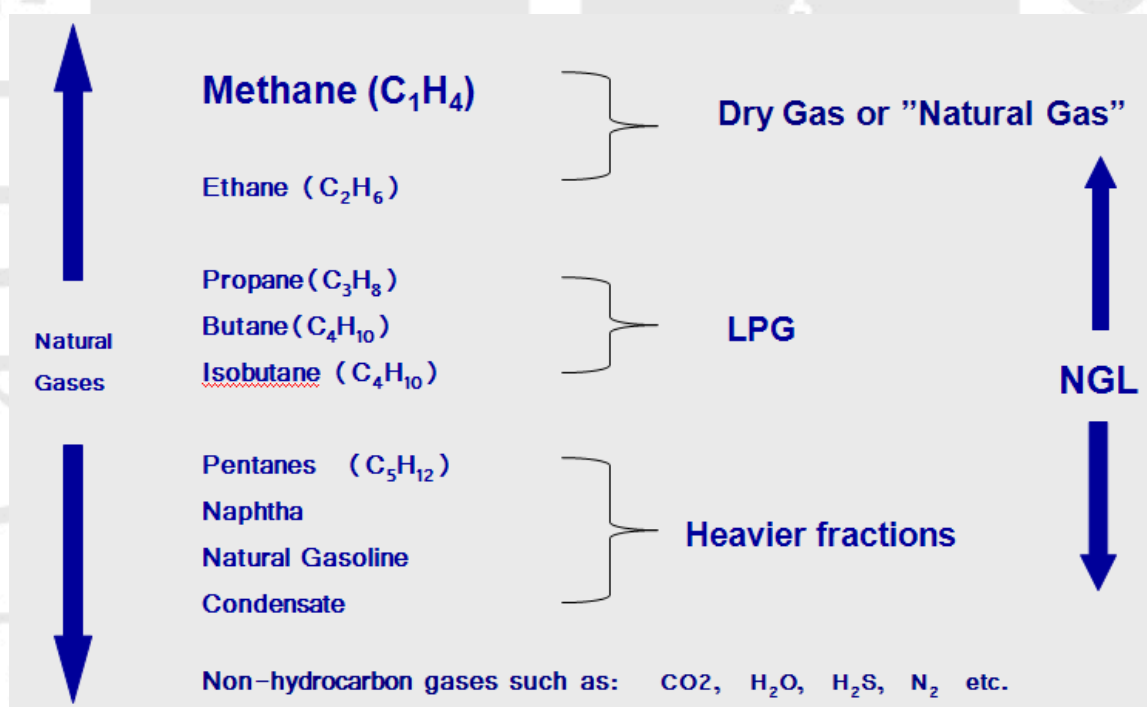


Figura B1. Composición de los gases naturales y sus fracciones. Tomado de: (International Energy Agency (IEA), 2015).

ANEXO C. CÁLCULO DEL VOLUMEN DRENADO Y PURGADO DE LOS FILTROS PECO Y NOWATA

Dado que el volumen de los filtros tiene forma cilíndrica y las tuberías también, entonces aplicaremos la fórmula para calcular el volumen de un cilindro como se detalla en el anexo A. Pero los filtros tienen un volumen a sumar y un volumen para restar, el volumen a adicionar es el de las tuberías que conectan al proceso hasta las válvulas de bloqueo, como se aprecia en la Figura C1. El volumen a restar es el espacio que ocupan los internos y elementos filtrantes. Como se aprecia en la Figura C2. Entonces matemáticamente el volumen Drenado y purgado es: $VD = VF + VT - VEF$.

Dónde:

VD = volumen total de NGL drenado y purgado por cada filtro.

VF = Volumen de NGL presente solo en el filtro.

VT = Volumen de NGL presente en las líneas tuberías del filtro.

VEF = Volumen que ocupan los elementos filtrantes e internos en cada filtro.

Primeramente, se realizará el cálculo de volumen drenado y purgado para los filtros Peco y luego para los filtros Nowata, ya que los diámetros, alturas y el tramo de tuberías de conexión con el proceso no son iguales.

Cálculo del volumen drenado y purgado de cada filtro Peco (VD). De la hoja de datos (data sheet) del filtro se obtuvo el diámetro que es 28 pulgadas y una altura de 116 pulgadas por lo tanto el radio () es 14 pulgadas. Con esto hallamos el volumen de NGL que tiene solo en filtro Peco (VF).

$$VF = h = 3.1416 \cdot 14 \cdot 14 \cdot 116$$

$$VF = 71427.4 \text{ pulgadas cúbicas; o su equivalente: } 7.3 \text{ barriles americanos.}$$

El cálculo del volumen del NGL de las líneas tuberías también se calcula con la fórmula de un cilindro, se midió la longitud y se obtuvo 64 pulgadas y esta línea tiene un diámetro de 10 pulgadas. Entonces el volumen es:

$$VT = h = 3.1416 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 64$$

$$VT = 5026.6 \text{ pulgadas cúbicas; o su equivalente: } 0.5 \text{ barriles americanos.}$$



Figura C1. Imagen del filtro Peco



Figura C2. Imagen la parte interna del filtro Peco con sus elementos filtrantes.

Los elementos filtrantes e internos del filtro ocupan como máximo el 20% del volumen del filtro, tal como se puede ver en la Figura C2, ya que los elementos filtrantes cilíndricos son huecos. Entonces Volumen de los elementos filtrantes e internos es el 20% del volumen del filtro.

$$VEF = 20\% (VF).$$

$$VEF = 20\% * 7.3 = 1.5 \text{ barriles americanos.}$$

Por lo tanto, matemáticamente el volumen del filtro Peco a drenar y purgar es:

$$VD = VF + VT - VEF$$

$$VD = 7.3 + 0.5 - 1.5$$

VD = 6.3 Barriles americanos/por filtro Peco.

Cálculo del volumen drenado y purgado por cada filtro Nowata (VD). De la hoja de datos (Data sheet) del filtro se obtuvo el diámetro que es 31.5 pulgadas y una altura de 118.6 pulgadas por lo tanto el radio es 14 pulgadas.

$$VF = h = 3.1416 * 15.75 * 15.75 * 116$$

VF = 92426.5 pulgadas cúbicas; o su equivalente: 9.5 barriles americanos.

El cálculo del volumen del NGL presente en la tubería del filtro Nowata, se midió la longitud y se obtuvo 38 pulgadas y el diámetro es de 10 pulgadas.

$$VT = h = 3.1416 * 5 * 5 * 38$$

VT = 2984.5 pulgadas cúbicas; o su equivalente: 0.3 barriles americanos.

De manera similar como se mencionó para en el cálculo del volumen drenado del filtro Peco, los filtrantes e internos es el 20% del volumen del filtro.

$$VEF = 20\% (VF).$$

$$VEF = 20\% * 9.5 = 1.9 \text{ barriles americanos.}$$

Por lo tanto, matemáticamente el volumen del filtro Nowata a drenar y purgar es:

$$VD = VF + VT - VEF$$

$$VD = 9.5 + 0.3 - 1.9$$

VD = 7.9 Barriles americanos/por filtro Nowata.

Cálculo del porcentaje perdido del volumen drenado y purgado de los filtro Peco y Nowata. En la actualidad se calcula la recuperación del 40% del NGL drenado y purgado en los filtros Peco y Nowata, sustentado en que el 50% se vaporiza y se quema en el Ground Flare porque son propano y butano, y el 10% restante son pérdidas que se generan en el trayecto de los filtros al acumulador del Flare y luego a las esferas. El razonamiento del párrafo anterior se sustenta en la Tabla C1, la que se presentó en el informe de gerencia para hacer el balance de materia, en la misma se puede observar para este NGL el 50% es GLP. Para llegar a estos valores porcentuales se determinó mediante pruebas de laboratorio.

Tabla C1.

Composición Porcentual del NGL.

Producción	Producción	Producción	Producción
Propano	Butano	Nafta	MDBS/Diésel
33.2%	16.8%	38.4%	11.6%

Nota. Fuente: laboratorio de la Empresa.

ANEXO D. CÁLCULO DEL VOLUMEN PERDIDO POR PURGAR LA LÍNEA DE ECUALIZACIÓN

En la Figura 4 se puede ver cómo está conectada a las tres esferas, por lo tanto, para saber el volumen que la línea de ecualización, se hallara con la fórmula del volumen del cilindro. Para aplicar la fórmula del cilindro del anexo A, necesitamos el radio y altura que se presenta en la Tabla 3. El diámetro es dato de la línea y para saber la altura se midió la longitud total de esta línea, como se ve en la figura 4. Como dato adicional el hidrocarburo líquido que se purga es básicamente propano y butano líquido. El que se forma con el pasar del tiempo y los cambios de temperatura; ya que la parte gaseosa de los tanques esféricos está formada por estos gases.

Esta información nos sirve para hacer dos afirmaciones; primero, todo este líquido que se purga se pierde, y segundo que cuando la línea se drena no está completamente llena. Cuando se purga está aproximadamente con 30% de líquido y es a este nivel que ya no permite el libre tránsito de gases por la línea; ya que ya hay puntos completamente llenos de líquido y forman sellos. Los datos de hallan en la Tabla 3.

$$\text{Entonces: VDLE} = 30\% \text{ VL} + \text{VB}$$

Dónde:

VDLE = Volumen drenado de la línea de ecualización.

VL = Volumen de la línea.

VB = Volumen de la bota.

$$\text{VL} = h = 3.1416 * 3 * 3 * 9400,4$$

$$\text{VL} = 265790,5 \text{ pulgadas cúbicas; o su equivalente: } 27,4 \text{ Barriles americanos.}$$

$$\text{VB} = \text{Volumen tramo 1} + \text{Volumen tramo 2}$$

$$\text{VB} = h + h$$

$$\text{VB} = 3.1416 * 2 * 2 * 61 + 3.1416 * 1 * 1 * 82,7$$

$$\text{VL} = 1026,6 \text{ pulgadas cúbicas; o su equivalente: } 0,11 \text{ Barriles americanos.}$$

Finalmente:

$$\text{VDLE} = 30\% \text{ VL} + \text{VB}$$

$$\text{VDLE} = 0,3 * 27,4 + 0,11$$

$$\text{VDLE} = 8,3 \text{ Barriles/purga. ; Frecuencia: } 11 \text{ Purga/ mes.}$$

$$\text{Volumen mensual} = 91,3 \text{ Barriles/mes.}$$

ANEXO E. ESTUDIO TÉCNICO DEL IMPACTO AL AMBIENTE POR LA QUEMA DE LOS HIDROCARBUROS GASEOSOS QUE DESECHAMOS

Vamos a presentar la manera de calcular las toneladas de CO₂ que produce la quema de unos cuantos barriles de GLP. Para ingresar los datos al Stella haremos un ejemplo con 195.7 barriles de GLP, y la composición de 66% de Propano y 34% de Butano. Esta composición se obtuvo de la tabla C1, por ejemplo, para 100 gramos de NGL 33.2 gramos sería propano y 18.6 gramos sería butano, por lo tanto, dividiendo los 33.2 gramos de propano entre la suma de ambos, dando 66% la composición de propano.

Calcularemos mediante apoyándonos con la estequiometría calcularemos cuanto Dióxido de carbono (CO₂) se produce por la quema de GLP y por ende saber cuánto (CO₂) se dejaría de emitir al ambiente; por la quema de los hidrocarburos volátiles (propano (C₃H₈) y butano (C₄H₁₀) principalmente. Para aplicar la estequiometría necesitamos primeramente escribir las reacciones de combustión del propano y el butano y saber por cada mol de propano y/o butano cuantas moles de CO₂ se producen. Luego se cuantificará la totalidad de moles de propano y butano, y de acuerdo a la proporción que produce cada uno de los combustibles sabremos la totalidad de moles de CO₂ y finalmente lo convertiremos a toneladas.

Reacción de combustión completa del propano



Como se evidencia en combustión completa por cada mol de propano se producen tres moles de CO₂, de tal manera solo necesitamos saber cuántas moles de propano podríamos quemar y luego por una regla de tres simple tendremos las moles de CO₂ producidas por la quema de propano.

Esto se calculará mediante la fórmula: # moles = m/M.

Dónde: m = Masa de la sustancia (gramos).

M = masa molecular de la sustancia; para el propano es: M C₃H₈ = 44g/mol.

Datos adicionales las masas moleculares del dióxido de carbono y el butano.

M C₄H₁₀ = 58g/mol.

M CO₂ = 44g/mol.

podríamos quemar y luego por una regla de tres simple tendríamos las moles de CO₂ producidas por la quema de butano.

$$M \text{ C}_4\text{H}_{10} = 58\text{g/mol.}$$

Solo nos falta saber la masa del Butano; para ello tenemos que saber de los 195.7 barriles asumidos como GLP cuanto es Butano, ello se calcula con la composición de 70% de Propano y 30% de Butano.

Volumen de butano = $195.7 * 0.34 = 66.5$ barriles o su equivalente en litros es 10 572.7 litros.

Luego al multiplicar este volumen de butano por su densidad tendríamos la masa. Ya que densidad es masa sobre volumen por lo tanto al multiplicar el volumen por densidad nos dará masa.

$$\text{Densidad del butano} = \rho = 0.69\text{g/mL}$$

$$\text{Por lo tanto: Masa del butano} = 10\,572.7 \text{ litros} * 1000 * 0.69\text{g/mL}$$

$$\text{Masa del butano} = m = \text{gramos.}$$

Con la masa del butano y mediante la fórmula para el cálculo del número de moles calculamos el número de moles de butano.

$$\# \text{ Moles de butano} = m/M = 7\,295\,163 \text{ gramos} / 58 \text{ gramos/mol.}$$

$$\# \text{ Moles de butano} = 125\,778.7$$

$$\begin{array}{r} 2 \quad 4 \quad 10 \quad + \quad 13 \quad 2 \quad \quad 8 \quad 2 \quad + \quad 10 \quad 2 \\ 1 \quad \quad \quad 4 \quad 10 \quad \quad \quad 4 \quad 2 \\ 125\,778.7 \quad d \quad 4 \quad 10 \quad \quad 503114.7 \text{ Mo}_2 \\ \quad \quad \quad 2 \quad = \quad 22.1 \end{array}$$

Como nos indican los balances de estequiometria la quema del butano estaría emitiendo 22.1 toneladas. Finalmente concluimos que se dejarían de emitir 59.1 toneladas de CO₂ por la quema de propano y butano.

ANEXO F. VIABILIDAD TÉCNICA

En este punto evaluaremos si técnicamente es posible y cómo realizar las propuestas. Para lo cual nos ayudaremos de las teorías mencionadas en el marco conceptual. Para el caso de los filtros para que la idea de inyectar el NGL al proceso funcione requerimos se cumplan las siguientes condicionales:

- 1° Presurizar Los filtros.
- 2° Evacuar el NGL del filtro.
- 3° La presión de los filtros inyecte al proceso.

1° Presurizar Los filtros. Los filtros tanto Peco como Nowata si se pueden presurizar porque tienen válvulas de bloqueo lo que lo permite que sea un recipiente cerrado y en adición resiste los 130 PSI a los que serán llevados ya que los filtros Nowata resiste 560 PSI y los Peco 750 PSI. Referente al gas con que presurizaremos será el Nitrógeno o también podremos hacerlo con fuel gas, ya que disponemos de ambos gases.

2° Evacuar el NGL del filtro. Una vez presurizado el filtro, el nitrógeno se situara en la parte superior y el NGL en la parte inferior como se puede ver en la figura F1. Esto es posible porque el nitrógeno es insoluble en el NGL y es menos denso que el NGL.

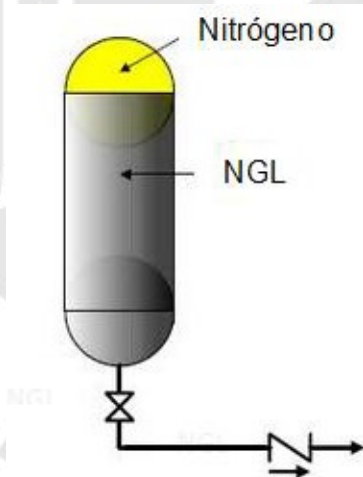


Figura F1. Presurización de los filtros.

Esto también se puede verificar en la naturaleza el iceberg se sitúa sobre el agua porque es menos denso, el dióxido de carbono que no se disuelve en la gaseosa está en la parte superior porque es menos denso, etc. Por lo tanto, al conseguir que el NGL este en la

parte inferior del filtro, aseguramos que al abrir la válvula inferior evacuaremos NGL del filtro y no nitrógeno.

3• La presión de los filtros inyecte al proceso. Como sabemos termodinámicamente los cuerpos se mueven de un lugar de mayor energía a otro de menor energía, como se puede ver en los filtros tendremos 130 PSI y en el proceso hay 100 PSI. Esto nos dice que el NGL de los filtros fluirá hacia el proceso, pero hay pérdidas de energía por fricción de la tubería, por las desviaciones del sentido del fluido, accesorios, etc.

Apoyándonos de la teoría de Bernoulli ajustada, calcularemos si es suficiente los 130 PSI para poder inyectar al proceso, es decir si estos 30 PSI adicionales compensa y sobrepasa las pérdidas de energía. De ser así quedara demostrado que es posible inyectarlo este NGL al proceso.

$$Z_1 + (V_1^2/2g_c) + P_1/V_1 = Z_2 + (V_2^2/2g_c) + P_2/V_2 + E \text{ (La teoría Bernoulli ajustada)}$$

Para fluidos incompresibles.

$$E = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta P/\rho$$

Dónde:

Z = Es la altura a la que está el fluido.

ρ = La densidad del fluido.

F = la pérdida de energía debido a la fricción y longitud.

V = Es la velocidad que tiene el fluido.

P = Es la presión que tiene el fluido.

g_c = es la gravedad.

Como vemos tenemos dos sistemas de filtración los filtros Peco y Nowata primero realizaremos cálculos para los filtros Peco y luego para los Nowata.

a) Calculo para los filtros Peco.

$$E = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta P/\rho$$

Ahora calcularemos cada uno de los términos para saber el valor de E .

Para calcular cada termino necesitamos conocer datos como: diámetros de líneas, volumen del filtro, diámetro del filtro, características fisicoquímicas del NGL, tiempo de drenado, etc. Los que lo presentamos en la Tabla F1.

$$\diamond \Delta Z = 0 \text{ m};$$

Es cero porque la altura donde están los filtros y la altura de la tubería del proceso a la que se inyectara son idénticas. Por lo tanto la diferencia de alturas tiende a cero.

$$\diamond \Delta (V^2/2g_c) = (V_1^2 - V_2^2)/2g_c$$

Se determinó el menor tiempo posible para el drenado considerando velocidades típicas en tuberías según la densidad del fluido descritas en (A.H Younger P. , April 2004). Para nuestro caso se drenara en 17 minutos un filtro Peco con eso calculamos las velocidades V_1 (en el filtro) y V_2 (en la línea de $\frac{3}{4}\phi$).

Tabla F1.

Características Fisicoquímicas del NGL y Datos de los Filtros Peco.

Filtros Peco		Unidades	Línea para drenado		unidades
Diámetro	28	Pulgada	Diámetro	3/4	pulgada
	0.7112	Metro		0.01905	metro
Volumen	6.3	barriles		0.0625	ft
	1.0023	m³			
NGL					
Densidad	39.7	Lb/ft³			
	635.93	Kg/m³			
Viscosidad	1.054	cSt (centi Stock)			

$$V_1 = \text{Caudal} / \text{Área}$$

El volumen a drenar solo es el 85% del volumen total

$$\text{Volumen} = 1.0023 * 85\% = 0.851 \text{ m}^3.$$

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{tiempo} = (0.851 \text{ m}^3 / 17 \text{ min}) = 0.000834 \text{ m}^3 / \text{s}.$$

$$\text{Area} = \pi * d^2 / 4 = 3.1416 * 0.7112 * 0.7112 / 4 = 0.397 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 0.000834 \text{ m}^3 / \text{s} / 0.397 \text{ m}^2 = 0.00210 \text{ m/s}$$

Para V_2 hallaremos con la ecuación de continuidad $Q_1 = Q_2$

$$Q_1 = 0.000834 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A_2 = \pi * d^2 / 4 = 3.1416 * 0.01905 * 0.01905 / 4 = 0.000285 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$0.000834 \text{ m}^3 / \text{s} = A_2 * V_2 = 0.000285 \text{ m}^2 * V_2$$

$$V_2 = 2.927 \text{ m/s}$$

$$\text{Entonces: } (V_1^2 - V_2^2) / 2g_c = -0.437 \text{ m}$$

$$\diamond \Delta P / \rho = (P_1 - P_2) / \rho$$

La P_2 sabemos que es 100 PSI.

La P_1 Deseamos determinar cuál será la presión necesaria para inyectar del filtro más lejano que está a 10 metros, Para ello iniciaremos P_1 con 110 PSI y veremos qué valor arroja E.

$$\text{Entonces: } (P_1 - P_2)/\rho = (110 \text{ PSI} - 100 \text{ PSI})/0.0229 \text{ lb/inch}^3 = \mathbf{11.092 \text{ m}}$$

Finalmente

$$E = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta P/\rho$$

$$E = 0 \text{ m} + (-0.437 \text{ m}) + 11.092 \text{ m}$$

$$\mathbf{E = 10.665 \text{ metros}}$$

Como se puede observar, los 110 PSI iniciales que se mantendrá en el filtro arroja 10.665 metros y esto pasa los 10 metros que necesitamos para transportar de un punto a otro. Como dato para 10 metros solo es necesario 109.45 PSI.

De esta manera queda demostrado para los filtros Peco, 130 PSI de manera constante en el filtro inyectaran el NGL al proceso, ya que solo es necesario 109.45 PSI para hacer esta operación. También se calculó la caída de presión que hay al transportar el NGL de los filtros hacia el proceso utilizando la fórmula de Darcy – Wiesbach, con el objetivo de comparar con la teoría de Bernoulli ajustada.

$$\Delta P = f * L * W^2 / 5715 * \rho * D^5$$

Dónde:

ΔP = Caída o pérdida de presión PSI.

f = Factor de fricción, hallado en el Diagrama de Moody.

L = Longitud total de la tubería en pies (ft).

ρ = Densidad del fluido, lb/ft³.

W = Flujo másico (lb/s)

D = Diámetro de la tubería (ft).

Para calcular esta caída de presión en adición de los datos para la teoría de Bernoulli ajustada necesitamos: La rugosidad relativa de la tubería, el número de Reynolds y el factor de fricción determinado con el diagrama de Moody.

La rugosidad relativa de la tubería, ε/D . La rugosidad absoluta ε para el acero comercial es 0.00015 ft, según A Working Guide To Process Equipment. Por otro lado el diámetro interno de la línea de drenado es de 0.0625ft.

$$\text{Entonces: } \varepsilon/D = 0.002.$$

El número de Reynolds Re .

$$Re = (\text{Diámetro del tubo}) (\text{Densidad}) (\text{Velocidad}) / \text{Viscosidad} = D\rho V/\mu$$

Dónde:

D = diámetro de la tubería (ft).

ρ = Densidad del fluido (lb/ft³).

V = Velocidad del fluido (ft/s)

μ = Viscosidad del Fluido (lb/ft*s)

Entonces:

$$Re = D\rho V/\mu = 0.0625*39.7*9.604/0.00045.$$

$$Re = 52888.711.$$

El factor de fricción f , determinado en el diagrama de Moody

(Ver Figura F2).

Con el número de Reynolds y la rugosidad relativa en el diagrama de Moody hallamos el factor de fricción.

$$f = 0.0028.$$

Con el factor de fricción y demás datos calculamos la caída de presión según la fórmula de Darcy – Wiesbach.

$$\Delta P = f * W^2 L * \rho / 5715 * D^5$$

$$\Delta P = 0.0028*(1.169)^2*39.370/5715*39.7*(0.0625)^5$$

$$\Delta P = \mathbf{6.9670 \text{ PSI.}}$$

Como se puede observar con la fórmula de Darcy – Wiesbach, nos arroja una pérdida menor de presión que con la teoría de Bernoulli ajustada una diferencia de 2.4 PSI. Por lo que de aquí en adelante trabajaremos solo con la teoría de Bernoulli ajustada, para asegurar la inyección del NGL.

Con esto queda demostrado para los filtros Peco que la presión de 130 PSI si inyecta al proceso.

b) Cálculo para los filtros Nowata

$$E = \Delta Z + \Delta (V^2/2g_c) + \Delta P/\rho$$

Ahora calcularemos cada uno de los términos para saber el valor de E.

Para estos cálculos necesitamos conocer datos como: diámetros de líneas, volumen del filtro, diámetro del filtro, características fisicoquímicas del NGL, tiempo de drenado, etc. Los mismos que lo presentamos en la Tabla F2.

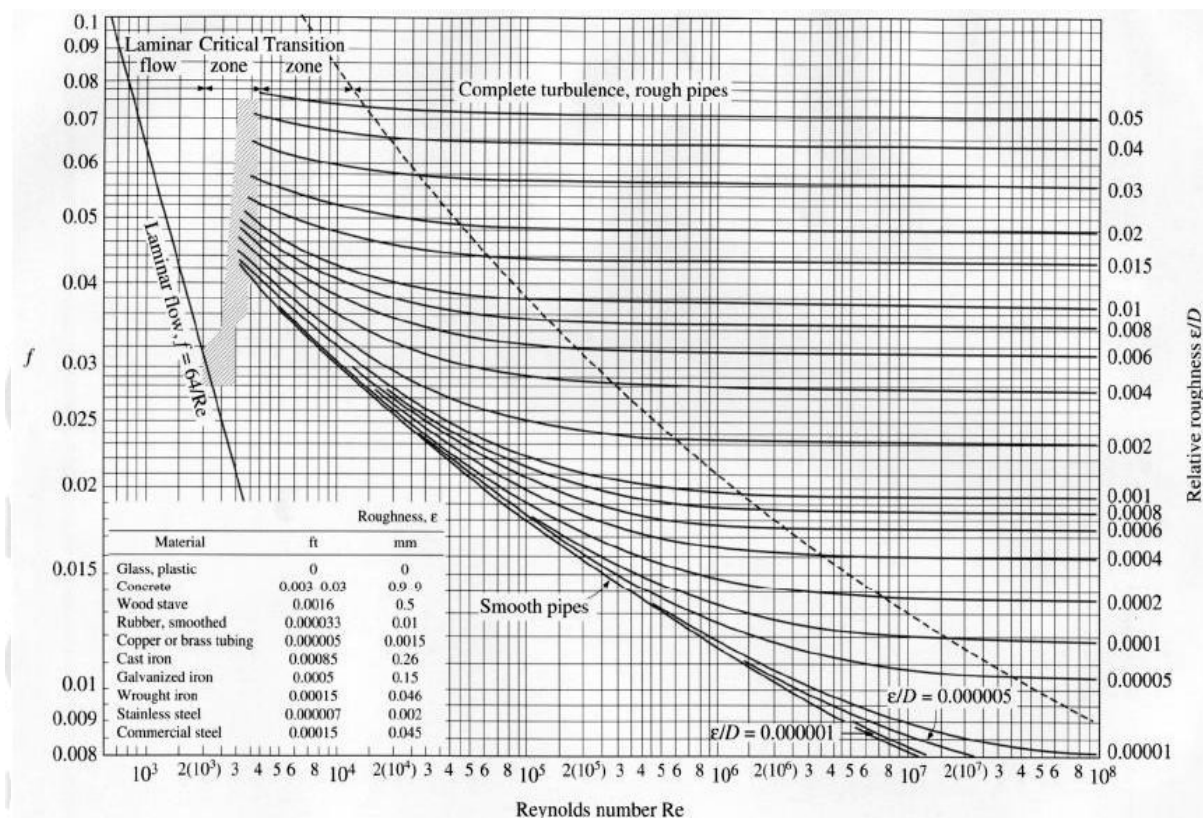


Figura F2. Diagrama de Moody

❖ $\Delta Z = 0 \text{ m};$

Es cero porque la altura donde están los filtros y la altura de la tubería del proceso a la que se inyectara son idénticas. Por lo tanto, la diferencia de alturas tiende a cero.

Tabla F2.

Características Fisicoquímicas del NGL y Datos de los Filtros Nowata.

Filtros Nowata		unidades	Línea para drenado		unidades
Diámetro	31.5	pulgada	Diámetro	3/4	pulgada
	0.8001	Metro		0.01905	metro
Volumen	7.9	barriles		0.0625	ft
	1.256	m ³			
NGL					
Densidad	39.7	Lb/ft ³			
	635.93	Kg/m ³			
Viscosidad	1.054	cSt (centi Stock)			

$$\diamond \Delta (V^2/2g_c) = (V_1^2 - V_2^2)/2g_c$$

Se determinó el menor tiempo posible para el drenado considerando velocidades típicas en tuberías según la densidad del fluido descritas en (A.H Younger P. , April 2004). Para nuestro caso se drenará en 17 minutos un filtro Peco con eso calculamos las velocidades V_1 (en el filtro) y V_2 (en la línea de $\frac{3}{4} \phi$).

$$V_1 = \text{Caudal} / \text{Área}$$

El volumen a drenar solo es el 85% del volumen total

$$\text{Volumen} = 1.256 * 85\% = 1.068 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{tiempo} = (1.068 \text{ m}^3 / 21 \text{ min}) = 0.000848 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\text{Area} = \pi * d^2 / 4 = 3.1416 * 0.8001^2 / 4 = 0.503 \text{ m}^2$$

$$V_1 = 0.000848 \text{ m}^3 / \text{s} / 0.503 \text{ m}^2 = 0.00169 \text{ m/s}$$

Para V_2 hallaremos con la ecuación de continuidad $Q_1 = Q_2$

$$Q_1 = 0.000848 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A_2 = \pi * d^2 / 4 = 3.1416 * 0.01905^2 / 4 = 0.000285 \text{ m}^2$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$0.000848 \text{ m}^3 / \text{s} = A_2 * V_2 = 0.000285 \text{ m}^2 * V_2$$

$$V_2 = 2.974 \text{ m/s}$$

$$\text{Entonces: } (V_1^2 - V_2^2) / 2g_c = \mathbf{-0.451 \text{ m}}$$

$$\diamond \Delta P / \rho = (P_1 - P_2) / \rho$$

La P_2 sabemos que es 100 PSI.

La P_1 Deseamos determinar cuál será la presión necesaria para inyectar del filtro más lejano que está a 20 metros, para ello iniciaremos P_1 con 120 PSI y veremos qué valor arroja E.

$$\text{Entonces: } (P_1 - P_2) / \rho = (120 \text{ PSI} - 100 \text{ PSI}) / 0.0229 \text{ lb/inch}^3 = \mathbf{22.183 \text{ m}}$$

Finalmente

$$E = \Delta Z + \Delta (V^2 / 2g_c) + \Delta P / \rho$$

$$E = 0 \text{ m} + (-0.451 \text{ m}) + 22.183 \text{ m}$$

$$\mathbf{E = 21.732 \text{ metros}}$$

Como se puede observar, los 120 PSI iniciales que se mantendrá en el filtro arroja 21.732 metros y esto pasa los 20 metros que necesitamos para transportar de un punto a otro. Como dato para 20 metros solo es necesario 118.50 PSI. De esta manera queda

demostrado para los filtros Nowata, 130 PSI de manera constante en el filtro inyectaran el NGL al proceso.

En la Figura F3 presentamos un Flow sheet en el cual esquematizamos el recorrido del NGL en el área de almacenamiento de NGL y los equipos existentes, los equipos existentes son: los filtros Peco, Filtros Nowata, las esferas, las tuberías que conectan y la línea del drenaje con las válvulas “A” y “B”. También en la figura F3 se presentan una línea con las válvulas “C”, “D” y “F” que se deben instalar para poder realizar la mejora propuesta la cual transportara el 85% del NGL de los filtros Peco y Nowata, que se pretende inyectar a las esferas como parte de la mejora planteada y solo enviar el 15% del NGL por la línea existe como indica el procedimiento actual de la figura G1. En adición para las mejoras propuestas para inyectar el NGL a las esferas se necesita presurizar con N₂ para ello se deben instalar a cada batería de filtros peco y Nowata una línea para N₂.

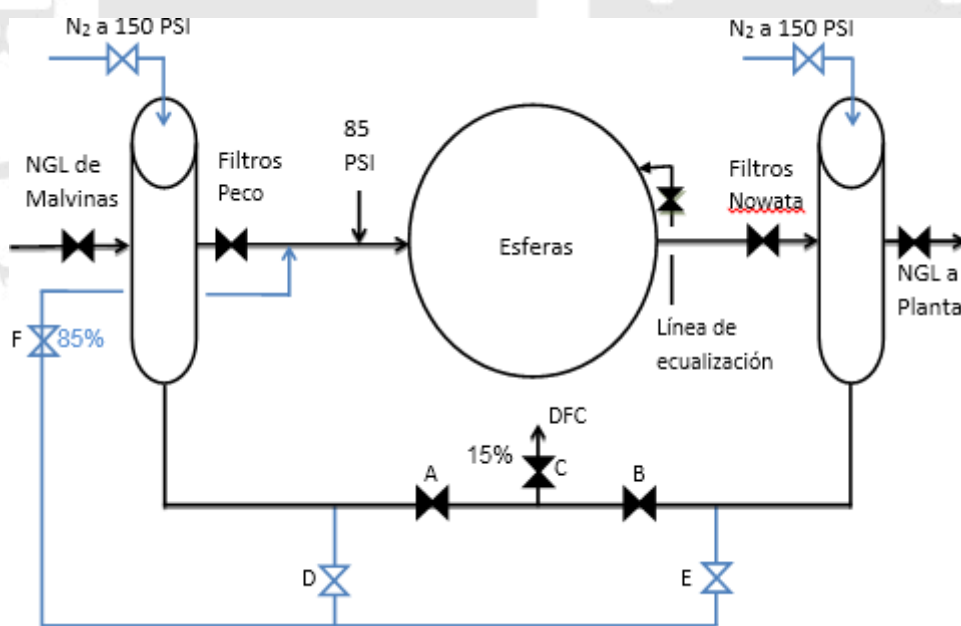


Figura F3. Flow sheet de filtros y esferas

Con el procedimiento actual de la figura G1 indica luego de cerrar las válvulas de ingreso y salida del filtro se drena y purga abriendo las válvulas “A” y “B” la totalidad del NGL con el cual se pierde el 60%. Con la propuesta de mejora y el procedimiento mejorado de la figura G2 debemos presurizar con N₂ a los filtros y luego inyectar el 85% del NGL al proceso antes de drenar y purgar, para ello debemos abrir las válvulas “C” y

“D” y solo drenar y purgar el 15% restante. Evidentemente si inyectamos el 85% del NGL a las esferas ya se recuperó porque este NGL será enviado al procesamiento en Planta y sabremos que se inyectó el 85% del NGL visualizando el indicador de nivel de los filtros. Apoyándonos de la figura 4, se sabe que se pierde el 60% porque después de drenar los filtros y enviar al acumulador y como se sabe el volumen que se envía, luego se hizo la operación de recuperación a esferas y el volumen recuperado fue el 40% del volumen drenado. Con pruebas de laboratorio presentadas en la tabla C1 se ve que 50% del NGL es propano y butano lo que se perderá, y el 10% restante se pierde porque según procedimiento antes del bombeo, antes del bombeo hay que eliminar los hidrocarburos de color negro y/o agua y parte del NGL es soluble con estos hidrocarburos negros y se pierde.

La línea de ecualización tiene conexión al gas propano de blanketing y no necesita instalar líneas tuberías, tampoco no es necesario demostrar con cálculos si es posible o no realizar la inyección de gas propano caliente a la línea de ecualización por dos razones: la primera esta línea de gas de blanketing ha sido diseñada mediante cálculos para que inyecte gas de blanketing a las esferas en caso baje la presión; si bien es cierto estamos cambiando el gas de blanketing por gas propano caliente, este está a presión mayor lo que nos favorece.

La segunda en la viabilidad técnica, se demuestra que con 110 PSI se inyecta a 100 PSI. En este caso las esferas están alrededor de 60 PSI y el propano caliente está alrededor de 200 PSI. Con estas dos razones queda demostrado que técnicamente es factible realizar la inyección de gas propano caliente; hacia la línea de ecualización y eliminar los líquidos mediante calentamiento. Como se puede ver en este caso ya no habrá drenado de la línea de ecualización de esferas por que el NGL regresará a las esferas en estado gaseoso y condensará en las esferas nuevamente, por lo tanto, se recupera el 100% del NGL.

ANEXO G. ELABORACIÓN DEL NUEVO PROCEDIMIENTO OPERATIVO PARA EL CAMBIO DE ELEMENTOS FILTRANTES Y PURGA DE LÍNEA DE ECUALIZACIÓN.

Para elaborar el nuevo procedimiento operativo para el cambio de elementos filtrantes primero mencionaremos el procedimiento actual del cambio de elementos filtrantes, y del purgado de la línea de ecualización. Con la finalidad que el nuevo procedimiento se opere de manera segura y en adición ver en qué parte del procedimiento está el punto crítico para hacer la mejora.

Procedimiento Actual del cambio de elementos filtrantes

El presente procedimiento que se describirá a continuación, se aplica actualmente en la empresa petrolera para hacer el cambio de elementos filtrantes. Este procedimiento describe cómo hacer para entregar un filtro a mantenimiento para que cambien los elementos filtrantes, y finalmente cómo hacer para recibir el filtro y verificar que esté en condiciones óptimas para operar. Todo este procedimiento se divide en siete pasos y se presentan a continuación (ver Figura G1).

1. La rotación de filtros consiste en poner en servicio el filtro en Stand by, dando apertura a las válvulas de ingreso y salida al proceso de dicho filtro. Y luego poner fuera de servicio el filtro a realizar el cambio de elementos filtrantes, cerrando las válvulas de ingreso y salida al proceso de dicho filtro. Hacer el bloqueo y etiquetado para asegurar que otra persona no opere tales válvulas.
2. Verificando que las válvulas filtro este con LOTO³, seguidamente dar apertura a la válvula inferior de drenaje del filtro y la válvula que permite el ingreso al drenaje frio cerrado, hasta que salga todo el líquido.
3. Inertizado⁴, la operación consiste en inyectar nitrógeno para desplazar los hidrocarburos gaseosos remanentes en el filtro hasta un máximo de 20% de LEL.

³ LOTO: Término que se usa para referirse al bloqueo y etiquetado, es decir el bloqueo sirve para asegurar que el dispositivo de bloqueo de la energía no sea retirado o abierto y el etiquetado es para comunicar el motivo del bloqueo y las personas involucradas. Para más información revisar el documento presentado en (SFM Companies).

⁴ Inertizado: Es una operación que consiste en hacer que la atmosfera del recipiente, tubería sea incapaz de reacción para nuestro caso básicamente reacción de combustión. Esto se logra inyectando gases de muy baja probabilidad de combustión como el N₂, CO₂, etc.

4. Cuando se ha completado la ejecución de los tres puntos anteriores se firma el PTAR y se entrega a mantenimiento para que haga el cambio de elementos filtrantes. El que consiste básicamente en destapar el filtro, retirar los elementos filtrantes sucios, poner los elementos filtrantes nuevos y finalmente tapar y terquear los pernos de ajuste de la tapa.

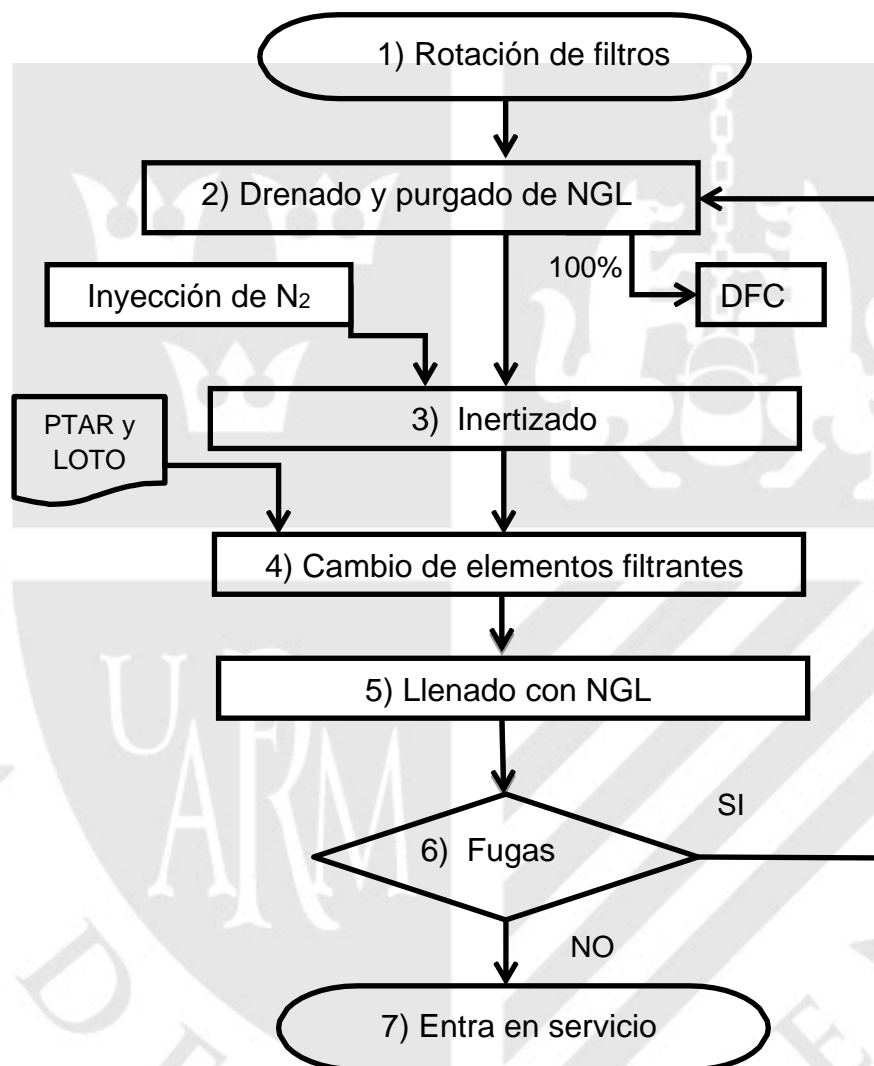


Figura G1. Diagrama de flujo del procedimiento actual.

5. Luego de recibir el filtro de mantenimiento, se procede a llenar el filtro con NGL abriendo lentamente la válvula de salida del filtro y a la vez haciendo el purgado del aire contenido en el filtro hasta quedar completamente lleno con NGL.
6. Al verificar si hay fugas de NGL hacerlo principalmente por el borde de la tapa, ya que a veces la tapa muerde el sello que lleva la tapa y filtro. La prueba

que se hace es de Leak Test, la que consiste en rociar agua jabonosa a la superficie que se inspecciona, esperando la formación de burbujas si hay fugas de lo contrario no forma nada.

7. Finalmente poner en servicio consiste en poner en línea con el proceso, esto se logra abriendo completamente las válvulas de ingreso y salida del filtro.

Como se observa en el procedimiento actual en el paso dos se drena el 100% del NGL acumulado entre las válvulas de bloqueo del filtro.

Procedimiento Mejorado del cambio de elementos filtrantes. El procedimiento mejorado también cuenta con siete pasos pero con la mejora en el paso dos. Se describe a continuación y se presenta el diagrama en la Figura G2.

1. La rotación de filtros consiste en poner en servicio el filtro en Stand by, dando apertura a las válvulas de ingreso y salida al proceso de dicho filtro. Y luego poner fuera de servicio el filtro a realizar el cambio de elementos filtrantes, cerrando las válvulas de ingreso y salida al proceso de dicho filtro. Hacer el bloqueo y etiquetado para asegurar que otra persona no opere tales válvulas.
2. Verificando que las válvulas del filtro este con LOTO, seguidamente abrir la válvula que permite la inyección de nitrógeno al filtro y presurizar hasta 130 PSI. Luego dar apertura a la válvula que permite inyectar el NGL a la línea del proceso, verificar constantemente que la presión en el filtro se mantenga en 130 PSI.

Inyectar el NGL al proceso hasta que quede 15% de nivel (Verificar este nivel en el indicador de Nivel). Al finalizar la inyección de NGL cerrar la válvula de inyección y dar apertura a la válvula inferior de drenaje del filtro y la válvula que permite el ingreso al drenaje frío cerrado, hasta que se drene todo el líquido.

3. Inertizado, continuar con la inyección de nitrógeno para desplazar los hidrocarburos gaseosos remanentes en el filtro hasta un máximo de 20% de LEL.
4. Cuando se ha completado la ejecución de los tres puntos anteriores se firma el PTAR y se entrega a mantenimiento para que haga el cambio de elementos filtrantes. El que consiste básicamente en destapar el filtro, retirar los elementos filtrantes sucios, poner los elementos filtrantes nuevos y finalmente tapar y terquear los pernos de ajuste de la tapa.

5. Luego de recibir el filtro de mantenimiento, se procede a llenar el filtro con NGL abriendo lentamente la válvula de salida del filtro y a la vez haciendo el purgado del aire contenido en el filtro hasta quedar completamente lleno con NGL.

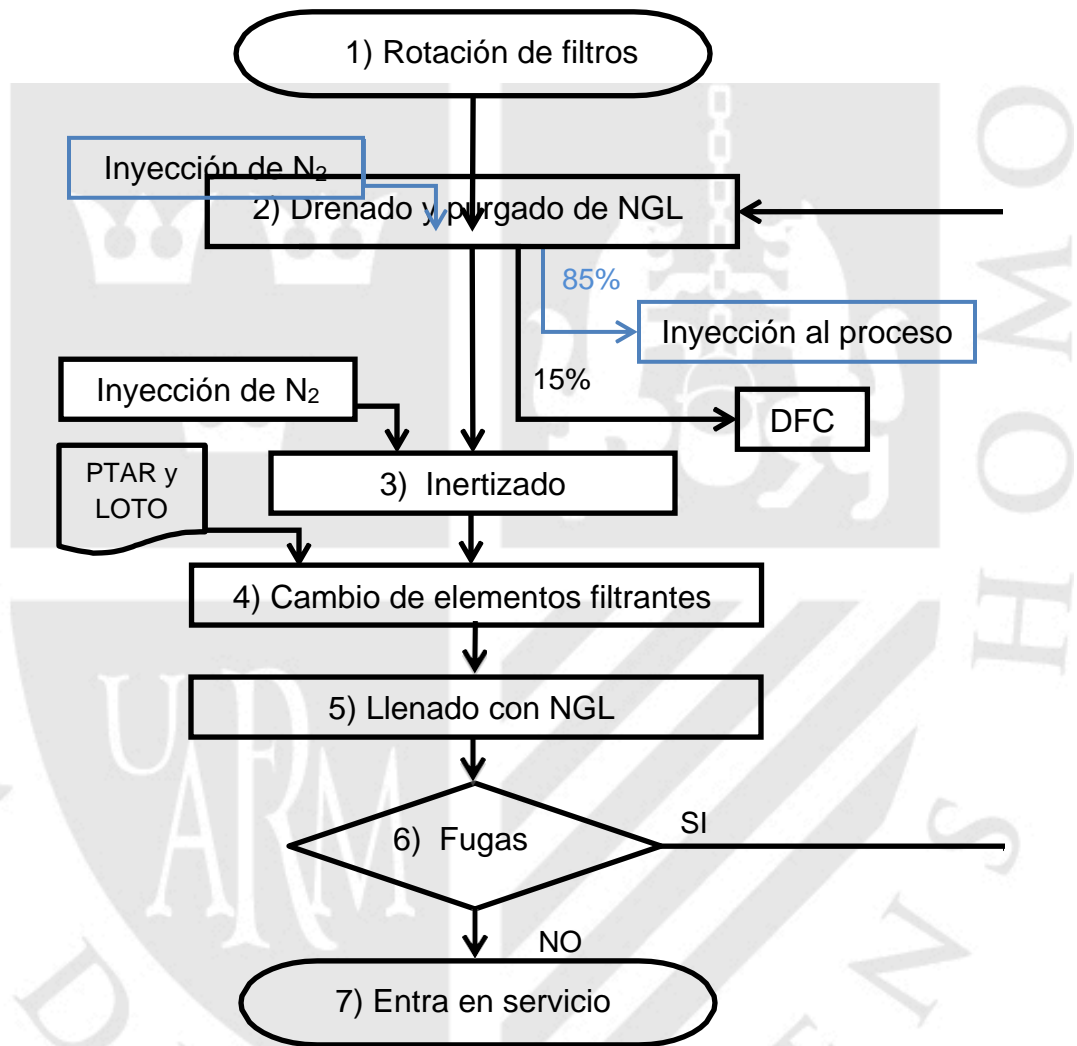


Figura G2. Diagrama de Diagrama de flujo del procedimiento Mejorado.

6. Al verificar si hay fugas de NGL hacerlo principalmente por el borde de la tapa, ya que a veces la tapa muerde el sello que lleva la tapa y filtro. La prueba que se hace es de Leak Test, la que consiste en rosear agua jabonosa a la superficie que se inspecciona, esperando la formación de burbujas si hay fugas de lo contrario no forma nada.

7. Finalmente poner en servicio consiste en poner en línea con el proceso, esto se logra abriendo completamente las válvulas de ingreso y salida del filtro.

Procedimiento Actual para purgar de la línea de ecualización. Este procedimiento se aplica en la actualidad para purgar la línea de ecualización de presión de tres tanques esféricos de almacenamiento de NGL.

1. Bloquear las válvulas de la línea de ecualización de las dos esferas más cercanas y dejar abierta la válvula de la más lejana con respecto a la válvula que permite bajar la presión de las esferas.
2. Abrir un 15% la válvula que permite bajar la presión de las esferas hacia el Ground Flare, luego se formará hielo en la tubería aguas arriba de esta válvula indicando la presencia de líquidos. Al hacer varias veces esta operación se determinó que lo óptimo es hacerlo por 15 minutos.
3. Transcurrido el tiempo cerrar la válvula que se apertura en el paso 2. En adición verificar la presencia de líquidos en la bota de esta línea.
4. Finalmente normalizar las válvulas, es decir alinear las 2 válvulas cerradas de las esferas más cercanas.

Procedimiento Mejorado para purgar de la línea de ecualización. Este procedimiento se propone para hacer la purga de la línea de ecualización, y de esta manera no haya pérdidas de hidrocarburos líquidos.

1. Bloquear las válvulas de la línea de ecualización de las dos esferas más cercanas y dejar abierta de la más lejana con respecto a la válvula que permite ***aumentar la presión de las esferas. Bloquear la válvula de gas de blanqueting de los bullets. Alinear la válvula que conecta al tope de la depropanizadora.***
2. ***Abrir un 20% la válvula que permite aumentar la presión de las esferas inyectando gas de blanqueting caliente,*** hasta que la tubería este ligeramente caliente.
3. Verificar en la bota de la línea de ecualización, que no haya líquidos. Cerrar la válvula que permite aumentar la presión de las esferas.
4. Alinear las válvulas de las esferas que fueron cerradas las válvulas, cerrar la válvula que conecta al tope de la depropanizadora, y finalmente alinear la válvula de gas de blanqueting de bullets.

ANEXO H. RESULTADOS DE LAS 365 RÉPLICAS DE LA SIMULACIÓN.

Tabla H1.

Resultados de las 365 réplicas de la simulación.

Days	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL
	Drenado 6	Perdido 7	Recuperado 5	Drenado 8	Perdido 9	Recuperado 7
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	8.30	8.30	0.00	0.00	0.00	8.30
3	14.81	14.81	0.00	0.00	0.00	8.30
4	14.81	14.81	0.00	0.96	0.96	19.01
5	31.72	31.72	0.00	0.96	0.96	27.31
6	31.72	31.72	0.00	2.21	2.21	40.74
7	40.02	40.02	0.00	2.21	2.21	49.04
8	53.45	53.45	0.00	2.21	2.21	49.04
9	53.45	53.45	0.00	4.38	4.38	73.18
10	61.75	61.75	0.00	4.38	4.38	81.48
11	68.18	68.18	0.00	4.38	4.38	81.48
12	68.18	68.18	0.00	5.24	5.24	92.19
13	85.88	85.88	0.00	5.24	5.24	100.49
14	85.88	85.88	0.00	6.71	6.71	116.55
15	108.57	108.57	0.00	6.71	6.71	124.85
16	116.87	116.87	0.00	8.93	8.93	157.29
17	116.87	116.87	0.00	8.93	8.93	157.29
18	125.17	125.17	0.00	8.93	8.93	165.59
19	125.17	125.17	0.00	8.93	8.93	165.59
20	125.17	125.17	0.00	8.93	8.93	165.59

Continúa...

Days	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL
	Drenado 6	Perdido 7	Recuperado 5	Drenado 8	Perdido 9	Recuperado 7
21	139.94	139.94	0.00	8.93	8.93	173.89
22	139.94	139.94	0.00	9.94	9.94	184.60
23	184.00	144.74	39.26	9.94	9.94	184.60
24	199.17	159.91	39.26	9.94	9.94	192.91
25	207.16	167.90	39.26	10.85	10.85	203.62
26	221.54	182.28	39.26	11.98	11.98	225.35
27	231.77	192.51	39.26	12.84	12.84	236.06
28	231.77	192.51	39.26	14.18	14.18	252.12
29	245.93	206.66	39.26	14.18	14.18	260.42
30	252.83	213.57	39.26	15.19	15.19	271.13
31	260.23	220.97	39.26	16.18	16.18	281.84
32	315.40	239.13	76.27	17.33	17.33	303.57
33	330.34	254.07	76.27	18.34	18.34	314.28
34	338.64	262.37	76.27	20.47	20.47	346.72
35	345.27	269.01	76.27	20.47	20.47	346.72
36	345.27	269.01	76.27	21.35	21.35	357.43
37	359.52	283.25	76.27	21.35	21.35	365.73
38	359.52	283.25	76.27	22.25	22.25	376.44
39	407.10	293.59	113.51	22.25	22.25	376.44
40	423.87	310.37	113.51	23.15	23.15	395.45
41	431.49	317.98	113.51	24.26	24.26	408.88
42	431.49	317.98	113.51	25.53	25.53	422.31
43	446.63	333.12	113.51	25.53	25.53	430.61
44	446.63	333.12	113.51	26.50	26.50	441.32
45	458.35	344.85	113.51	26.50	26.50	449.62
46	458.35	344.85	113.51	26.94	26.94	454.97
47	464.89	351.39	113.51	26.94	26.94	454.97
48	473.19	359.69	113.51	27.83	27.83	473.98
49	480.11	366.60	113.51	27.83	27.83	473.98

Continúa...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
50	480.11	366.60	113.51	28.69	28.69	484.69
47	537.06	385.11	151.95	28.69	28.69	492.99
48	537.06	385.11	151.95	29.69	29.69	503.70
49	545.36	393.41	151.95	29.69	29.69	512.00
50	545.36	393.41	151.95	29.69	29.69	512.00
51	559.28	407.33	151.95	29.69	29.69	512.00
52	567.58	415.63	151.95	31.84	31.84	544.44
53	573.50	421.55	151.95	31.84	31.84	544.44
54	579.87	427.92	151.95	32.86	32.86	555.15
55	602.60	450.65	151.95	33.76	33.76	574.16
56	610.79	458.84	151.95	35.98	35.98	598.30
57	681.40	486.25	195.15	37.05	37.05	620.03
58	681.40	486.25	195.15	39.17	39.17	644.17
59	688.15	493.00	195.15	39.17	39.17	644.17
60	696.45	501.30	195.15	40.06	40.06	663.18
61	696.45	501.30	195.15	40.06	40.06	663.18
62	696.45	501.30	195.15	40.06	40.06	663.18
63	721.99	526.84	195.15	40.06	40.06	671.48
64	729.97	534.82	195.15	42.65	42.65	700.98
65	789.19	553.90	235.29	43.81	43.81	722.71
66	797.49	562.20	235.29	44.78	44.78	741.72
67	803.43	568.14	235.29	44.78	44.78	741.72
68	817.61	582.32	235.29	45.72	45.72	760.73
69	823.61	588.32	235.29	46.71	46.71	771.44
70	823.61	588.32	235.29	47.65	47.65	782.15
71	838.76	603.47	235.29	47.65	47.65	790.45
72	838.76	603.47	235.29	48.61	48.61	801.16
73	845.62	610.34	235.29	48.61	48.61	801.16
74	853.92	618.64	235.29	49.55	49.55	820.17
75	905.32	629.39	275.93	49.55	49.55	820.17
76	922.17	646.23	275.93	50.51	50.51	839.18
77	480.11	366.60	113.51	28.69	28.69	484.69
78	537.06	385.11	151.95	28.69	28.69	492.99
79	537.06	385.11	151.95	29.69	29.69	503.70
80	545.36	393.41	151.95	29.69	29.69	512.00

Continúa

...

Days	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL	NGL
	Drenado 6	Perdido 7	Recuperado 5	Drenado 8	Perdido 9	Recuperado 7
81	928.40	652.47	275.93	51.59	51.59	852.61
82	928.40	652.47	275.93	52.47	52.47	863.32
83	942.86	666.92	275.93	52.47	52.47	871.62
84	946.63	670.70	275.93	53.36	53.36	882.33
85	952.97	677.03	275.93	53.92	53.92	889.04
86	961.27	685.33	275.93	54.84	54.84	908.05
87	967.77	691.83	275.93	54.84	54.84	908.05
88	976.07	700.13	275.93	55.69	55.69	927.06
89	1.026.80	711.67	315.13	55.69	55.69	927.06
90	1.026.80	711.67	315.13	56.84	56.84	940.49
91	1.035.10	719.97	315.13	56.84	56.84	948.79
92	1.035.10	719.97	315.13	56.84	56.84	948.79
93	1.040.82	725.69	315.13	56.84	56.84	948.79
94	1.049.12	733.99	315.13	57.78	57.78	967.80
95	1.056.53	741.41	315.13	57.78	57.78	967.80
96	1.064.83	749.71	315.13	59.00	59.00	989.53
97	1.076.02	760.89	315.13	59.00	59.00	997.83
98	1.076.02	760.89	315.13	59.51	59.51	1.003.19
99	1.090.81	775.68	315.13	59.51	59.51	1.011.49
100	1.090.81	775.68	315.13	100.83	64.36	1.058.67
101	1.090.81	775.68	315.13	100.83	64.36	1.058.67
102	1.099.11	783.98	315.13	100.83	64.36	1.066.97
103	1.105.56	790.43	315.13	100.83	64.36	1.066.97
104	1.123.59	808.46	315.13	101.77	65.30	1.077.68
105	1.131.89	816.76	315.13	104.54	68.08	1.116.83
106	1.189.50	822.60	366.90	104.54	68.08	1.116.83
107	1.205.12	838.22	366.90	104.54	68.08	1.125.13
108	1.205.12	838.22	366.90	105.71	69.24	1.138.56
109	1.205.12	838.22	366.90	105.71	69.24	1.138.56
110	1.213.42	846.52	366.90	105.71	69.24	1.146.86
111	1.216.74	849.84	366.90	105.71	69.24	1.146.86

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
112	1.216.74	849.84	366.90	106.18	69.71	1.152.22
113	1.230.88	863.98	366.90	106.18	69.71	1.160.52
114	1.230.88	863.98	366.90	107.13	70.67	1.171.23
115	1.246.04	879.15	366.90	107.13	70.67	1.179.53
116	1.246.04	879.15	366.90	108.00	71.53	1.190.24
117	1.252.79	885.89	366.90	108.00	71.53	1.190.24
118	1.261.09	894.19	366.90	108.90	72.43	1.209.25
119	1.261.09	894.19	366.90	108.90	72.43	1.209.25
120	1.261.09	894.19	366.90	108.90	72.43	1.209.25
121	1.269.39	902.49	366.90	108.90	72.43	1.217.55
122	1.277.74	910.84	366.90	108.90	72.43	1.217.55
123	1.284.45	917.55	366.90	110.20	73.73	1.230.98
124	1.292.75	925.85	366.90	111.23	74.76	1.249.99
125	1.339.74	933.87	405.87	111.23	74.76	1.249.99
126	1.354.52	948.65	405.87	111.87	75.40	1.265.00
127	1.361.30	955.43	405.87	112.88	76.41	1.275.71
128	1.367.23	961.36	405.87	113.87	77.40	1.286.42
129	1.389.58	983.71	405.87	114.74	78.27	1.305.43
130	1.389.58	983.71	405.87	116.90	80.43	1.329.57
131	1.396.78	990.91	405.87	116.90	80.43	1.329.57
132	1.405.08	999.21	405.87	118.04	81.57	1.351.30
133	1.457.11	1.009.95	447.16	118.04	81.57	1.351.30
134	1.465.41	1.018.25	447.16	119.02	82.55	1.370.31
135	1.479.65	1.032.49	447.16	119.02	82.55	1.370.31

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
136	1.479.65	1.032.49	447.16	121.14	84.67	1.394.45
137	1.500.69	1.053.53	447.16	121.14	84.67	1.402.75
138	1.507.07	1.059.91	447.16	122.79	86.32	1.422.90
139	1.513.01	1.065.86	447.16	123.80	87.34	1.433.61
140	1.521.31	1.074.16	447.16	124.68	88.21	1.452.62
141	1.565.50	1.078.63	486.87	124.68	88.21	1.452.62
142	1.573.80	1.086.93	486.87	124.68	88.21	1.460.92
143	1.580.63	1.093.76	486.87	124.68	88.21	1.460.92
144	1.586.98	1.100.11	486.87	125.68	89.21	1.471.63
145	1.595.28	1.108.41	486.87	126.66	90.19	1.490.64
146	1.595.28	1.108.41	486.87	126.66	90.19	1.490.64
147	1.601.24	1.114.37	486.87	126.66	90.19	1.490.64
148	1.617.36	1.130.49	486.87	127.60	91.13	1.509.65
149	1.625.30	1.138.44	486.87	128.87	92.40	1.523.08
150	1.625.30	1.138.44	486.87	130.03	93.56	1.536.51
151	1.633.60	1.146.74	486.87	130.03	93.56	1.544.81
152	1.633.60	1.146.74	486.87	130.03	93.56	1.544.81
153	1.652.64	1.165.77	486.87	130.03	93.56	1.553.11
154	1.658.80	1.171.93	486.87	131.60	95.13	1.571.89
155	1.704.66	1.176.36	528.30	132.57	96.10	1.582.60
156	1.712.96	1.184.66	528.30	132.57	96.10	1.590.90
157	1.712.96	1.184.66	528.30	132.57	96.10	1.590.90
158	1.712.96	1.184.66	528.30	132.57	96.10	1.590.90
159	1.727.65	1.199.35	528.30	132.57	96.10	1.599.20
160	1.727.65	1.199.35	528.30	133.47	97.00	1.609.91
161	1.735.95	1.207.65	528.30	133.47	97.00	1.618.21
162	1.735.95	1.207.65	528.30	133.47	97.00	1.618.21
163	1.735.95	1.207.65	528.30	133.47	97.00	1.618.21

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
164	1.744.25	1.215.95	528.30	133.47	97.00	1.626.51
165	1.749.99	1.221.69	528.30	133.47	97.00	1.626.51
166	1.758.22	1.229.92	528.30	134.44	97.97	1.637.22
167	1.766.52	1.238.22	528.30	135.62	99.15	1.658.95
168	1.766.52	1.238.22	528.30	135.62	99.15	1.658.95
169	1.780.68	1.252.38	528.30	135.62	99.15	1.667.25
170	1.788.87	1.260.57	528.30	136.50	100.03	1.677.96
171	1.803.53	1.275.23	528.30	137.78	101.31	1.691.39
172	1.859.96	1.294.21	565.76	139.78	103.31	1.723.83
173	1.868.51	1.302.75	565.76	140.67	104.20	1.734.54
174	1.868.51	1.302.75	565.76	141.97	105.50	1.747.97
175	1.876.81	1.311.05	565.76	182.82	109.50	1.793.13
176	1.876.81	1.311.05	565.76	182.82	109.50	1.793.13
177	1.890.87	1.325.12	565.76	182.82	109.50	1.801.43
178	1.899.17	1.333.42	565.76	183.80	110.48	1.820.44
179	1.905.51	1.339.75	565.76	183.80	110.48	1.820.44
180	1.920.66	1.354.90	565.76	184.73	111.41	1.839.45
181	1.927.37	1.361.61	565.76	185.65	112.33	1.850.16
182	1.980.38	1.373.42	606.96	186.57	113.24	1.860.87
183	1.995.04	1.388.08	606.96	187.67	114.35	1.882.60
184	1.995.04	1.388.08	606.96	188.58	115.26	1.893.31
185	2.012.94	1.405.98	606.96	188.58	115.26	1.893.31
186	2.021.24	1.414.28	606.96	191.31	117.99	1.932.46
187	2.027.62	1.420.66	606.96	191.31	117.99	1.932.46
188	2.035.92	1.428.96	606.96	192.33	119.01	1.951.47
189	2.095.93	1.448.29	647.64	192.33	119.01	1.951.47
190	2.095.93	1.448.29	647.64	194.51	121.19	1.975.61

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
191	2.104.23	1.456.59	647.64	194.51	121.19	1.983.91
192	2.104.23	1.456.59	647.64	194.51	121.19	1.983.91
193	2.104.23	1.456.59	647.64	194.51	121.19	1.983.91
194	2.112.53	1.464.89	647.64	194.51	121.19	1.992.21
195	2.127.90	1.480.26	647.64	194.51	121.19	1.992.21
196	2.136.20	1.488.56	647.64	196.75	123.42	2.024.65
197	2.143.08	1.495.44	647.64	196.75	123.42	2.024.65
198	2.150.00	1.502.36	647.64	197.66	124.33	2.035.36
199	2.164.21	1.516.57	647.64	198.69	125.37	2.054.37
200	2.171.37	1.523.73	647.64	199.58	126.26	2.065.08
201	2.221.84	1.533.62	688.22	200.76	127.44	2.078.51
202	2.230.14	1.541.92	688.22	201.65	128.33	2.097.52
203	2.238.83	1.550.60	688.22	201.65	128.33	2.097.52
204	2.253.89	1.565.67	688.22	203.20	129.88	2.121.89
205	2.262.19	1.573.97	688.22	204.07	130.75	2.140.90
206	2.262.19	1.573.97	688.22	204.07	130.75	2.140.90
207	2.276.29	1.588.07	688.22	204.07	130.75	2.149.20
208	2.276.29	1.588.07	688.22	204.99	131.67	2.159.91
209	2.276.29	1.588.07	688.22	204.99	131.67	2.159.91
210	2.291.06	1.602.83	688.22	204.99	131.67	2.168.21
211	2.297.68	1.609.46	688.22	205.87	132.54	2.178.92
212	2.342.22	1.613.50	728.72	206.85	133.53	2.189.63
213	2.356.70	1.627.98	728.72	206.85	133.53	2.197.93
214	2.356.70	1.627.98	728.72	207.81	134.48	2.208.64
215	2.371.18	1.642.46	728.72	207.81	134.48	2.216.94
216	2.377.84	1.649.12	728.72	208.80	135.48	2.227.65
217	2.377.84	1.649.12	728.72	209.75	136.43	2.238.36

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
218	2.386.14	1.657.42	728.72	209.75	136.43	2.246.66
219	2.392.99	1.664.27	728.72	209.75	136.43	2.246.66
220	2.392.99	1.664.27	728.72	210.68	137.36	2.257.37
221	2.411.43	1.682.71	728.72	210.68	137.36	2.265.67
222	2.411.43	1.682.71	728.72	212.05	138.73	2.281.73
223	2.419.73	1.691.01	728.72	212.05	138.73	2.290.03
224	2.419.73	1.691.01	728.72	212.05	138.73	2.290.03
225	2.434.26	1.705.54	728.72	212.05	138.73	2.290.03
226	2.442.56	1.713.84	728.72	214.27	140.95	2.322.47
227	2.513.62	1.737.12	776.50	214.27	140.95	2.322.47
228	2.513.62	1.737.12	776.50	217.16	143.83	2.353.33
229	2.528.28	1.751.78	776.50	217.16	143.83	2.361.63
230	2.528.28	1.751.78	776.50	218.04	144.72	2.372.34
231	2.528.28	1.751.78	776.50	218.04	144.72	2.372.34
232	2.536.58	1.760.08	776.50	218.04	144.72	2.380.64
233	2.536.58	1.760.08	776.50	218.04	144.72	2.380.64
234	2.551.57	1.775.08	776.50	218.04	144.72	2.388.94
235	2.558.04	1.781.54	776.50	218.95	145.63	2.399.65
236	2.558.04	1.781.54	776.50	219.82	146.50	2.410.36
237	2.574.63	1.798.13	776.50	219.82	146.50	2.418.66
238	2.574.63	1.798.13	776.50	221.06	147.73	2.432.09
239	2.618.80	1.802.78	816.02	221.06	147.73	2.432.09
240	2.633.81	1.817.79	816.02	221.06	147.73	2.440.39
241	2.633.81	1.817.79	816.02	221.91	148.59	2.451.10
242	2.642.11	1.826.09	816.02	221.91	148.59	2.459.40
243	2.648.22	1.832.20	816.02	261.93	152.39	2.495.61
244	2.648.22	1.832.20	816.02	262.95	153.42	2.506.32
245	2.656.52	1.840.50	816.02	262.95	153.42	2.514.62

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
246	2.656.52	1.840.50	816.02	262.95	153.42	2.514.62
247	2.656.52	1.840.50	816.02	262.95	153.42	2.514.62
248	2.664.82	1.848.80	816.02	262.95	153.42	2.522.92
249	2.664.82	1.848.80	816.02	262.95	153.42	2.522.92
250	2.673.12	1.857.10	816.02	262.95	153.42	2.531.22
251	2.679.41	1.863.40	816.02	262.95	153.42	2.531.22
252	2.679.41	1.863.40	816.02	263.88	154.34	2.541.93
253	2.687.71	1.871.70	816.02	263.88	154.34	2.550.23
254	2.687.71	1.871.70	816.02	263.88	154.34	2.550.23
255	2.690.96	1.874.94	816.02	263.88	154.34	2.550.23
256	2.699.26	1.883.24	816.02	264.36	154.83	2.563.88
257	2.705.14	1.889.12	816.02	264.36	154.83	2.563.88
258	2.716.45	1.900.43	816.02	265.35	155.82	2.582.89
259	2.730.67	1.914.65	816.02	265.81	156.28	2.596.55
260	2.730.67	1.914.65	816.02	266.69	157.16	2.607.26
261	2.738.97	1.922.95	816.02	266.69	157.16	2.615.56
262	2.738.97	1.922.95	816.02	266.69	157.16	2.615.56
263	2.738.97	1.922.95	816.02	266.69	157.16	2.615.56
264	2.751.51	1.935.49	816.02	266.69	157.16	2.623.86
265	2.758.78	1.942.76	816.02	267.25	157.72	2.630.57
266	2.800.87	1.947.10	853.78	268.35	158.82	2.644.00
267	2.815.04	1.961.26	853.78	268.35	158.82	2.652.30
268	2.815.04	1.961.26	853.78	269.32	159.79	2.663.01
269	2.823.34	1.969.56	853.78	269.32	159.79	2.671.31
270	2.823.34	1.969.56	853.78	269.32	159.79	2.671.31
271	2.829.83	1.976.06	853.78	269.32	159.79	2.671.31
272	2.838.13	1.984.36	853.78	270.21	160.67	2.690.32

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
273	2.844.22	1.990.44	853.78	270.21	160.67	2.690.32
274	2.844.22	1.990.44	853.78	271.16	161.63	2.701.03
275	2.858.55	2.004.78	853.78	271.16	161.63	2.709.33
276	2.858.55	2.004.78	853.78	272.12	162.59	2.720.04
277	2.866.85	2.013.08	853.78	272.12	162.59	2.728.34
278	2.869.90	2.016.12	853.78	272.12	162.59	2.728.34
279	2.876.44	2.022.67	853.78	272.55	163.02	2.733.70
280	2.884.74	2.030.97	853.78	273.54	164.00	2.752.71
281	2.928.50	2.035.09	893.41	273.54	164.00	2.752.71
282	2.934.78	2.041.37	893.41	273.54	164.00	2.752.71
283	2.949.35	2.055.94	893.41	274.43	164.89	2.771.72
284	2.949.35	2.055.94	893.41	275.43	165.90	2.782.43
285	2.968.23	2.074.82	893.41	275.43	165.90	2.790.73
286	2.983.25	2.089.84	893.41	277.14	167.61	2.817.81
287	2.989.12	2.095.72	893.41	278.17	168.63	2.828.52
288	3.009.60	2.116.19	893.41	279.03	169.50	2.847.53
289	3.015.92	2.122.51	893.41	280.93	171.40	2.867.68
290	3.070.40	2.133.60	936.80	281.90	172.37	2.878.39
291	3.085.36	2.148.56	936.80	282.90	173.37	2.897.40
292	3.085.36	2.148.56	936.80	283.92	174.38	2.908.11
293	3.099.58	2.162.77	936.80	283.92	174.38	2.908.11
294	3.115.54	2.178.73	936.80	286.02	176.49	2.940.55
295	3.121.95	2.185.14	936.80	287.17	177.64	2.953.98
296	3.171.21	2.197.67	973.54	288.15	178.62	2.972.99
297	3.171.21	2.197.67	973.54	288.15	178.62	2.972.99
298	3.171.21	2.197.67	973.54	288.15	178.62	2.972.99
299	3.179.51	2.205.97	973.54	288.15	178.62	2.981.29
300	3.179.51	2.205.97	973.54	288.15	178.62	2.981.29
301	3.179.51	2.205.97	973.54	288.15	178.62	2.981.29

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
302	3.191.95	2.218.41	973.54	288.15	178.62	2.989.59
303	3.195.02	2.221.48	973.54	288.77	179.24	2.996.30
304	3.203.32	2.229.78	973.54	289.27	179.74	3.009.96
305	3.203.32	2.229.78	973.54	289.27	179.74	3.009.96
306	3.209.51	2.235.97	973.54	289.27	179.74	3.009.96
307	3.217.81	2.244.27	973.54	290.16	180.62	3.028.97
308	3.217.81	2.244.27	973.54	290.16	180.62	3.028.97
309	3.224.20	2.250.66	973.54	290.16	180.62	3.028.97
310	3.232.50	2.258.96	973.54	291.04	181.51	3.047.98
311	3.232.50	2.258.96	973.54	291.04	181.51	3.047.98
312	3.232.50	2.258.96	973.54	291.04	181.51	3.047.98
313	3.240.80	2.267.26	973.54	291.04	181.51	3.056.28
314	3.240.80	2.267.26	973.54	291.04	181.51	3.056.28
315	3.249.10	2.275.56	973.54	291.04	181.51	3.064.58
316	3.249.10	2.275.56	973.54	291.04	181.51	3.064.58
317	3.249.10	2.275.56	973.54	291.04	181.51	3.064.58
318	3.257.40	2.283.86	973.54	291.04	181.51	3.072.88
319	3.257.40	2.283.86	973.54	291.04	181.51	3.072.88
320	3.264.64	2.291.10	973.54	291.04	181.51	3.072.88
321	3.279.17	2.305.63	973.54	292.31	182.78	3.094.61
322	3.279.17	2.305.63	973.54	293.18	183.65	3.105.32
323	3.328.20	2.317.69	1.010.51	293.18	183.65	3.113.62
324	3.334.02	2.323.51	1.010.51	293.18	183.65	3.113.62
325	3.345.05	2.334.54	1.010.51	294.08	184.55	3.124.33
326	3.353.35	2.342.84	1.010.51	295.64	186.11	3.151.41
327	3.360.02	2.349.51	1.010.51	295.64	186.11	3.151.41

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
328	3.360.02	2.349.51	1.010.51	296.58	187.05	3.162.12
329	3.380.30	2.369.80	1.010.51	296.58	187.05	3.170.42
330	3.386.33	2.375.82	1.010.51	298.28	188.75	3.189.21
331	3.400.69	2.390.18	1.010.51	299.18	189.65	3.208.22
332	3.441.16	2.394.00	1.047.15	300.11	190.58	3.218.93
333	3.446.83	2.399.68	1.047.15	300.11	190.58	3.218.93
334	3.455.13	2.407.98	1.047.15	301.07	191.54	3.237.94
335	3.465.67	2.418.52	1.047.15	301.07	191.54	3.237.94
336	3.465.67	2.418.52	1.047.15	302.69	193.16	3.255.36
337	3.480.38	2.433.23	1.047.15	302.69	193.16	3.263.66
338	3.480.38	2.433.23	1.047.15	344.19	197.86	3.311.16
339	3.486.26	2.439.10	1.047.15	344.19	197.86	3.311.16
340	3.502.52	2.455.37	1.047.15	345.05	198.72	3.330.17
341	3.511.10	2.463.94	1.047.15	346.11	199.79	3.343.60
342	3.563.57	2.476.30	1.087.27	347.38	201.06	3.365.33
343	3.563.57	2.476.30	1.087.27	347.38	201.06	3.365.33
344	3.569.49	2.482.23	1.087.27	347.38	201.06	3.365.33
345	3.592.10	2.504.83	1.087.27	348.28	201.96	3.384.34
346	3.598.56	2.511.29	1.087.27	350.43	204.11	3.408.48
347	3.615.88	2.528.61	1.087.27	351.31	204.98	3.419.19
348	3.624.18	2.536.91	1.087.27	354.18	207.85	3.458.35
349	3.684.10	2.549.29	1.134.80	354.18	207.85	3.458.35
350	3.692.40	2.557.59	1.134.80	355.17	208.84	3.477.36

Continúa

...

Days	NGL Drenado 6	NGL Perdido 7	NGL Recuperado 5	NGL Drenado 8	NGL Perdido 9	NGL Recuperado 7
351	3.698.43	2.563.63	1.134.80	355.17	208.84	3.477.36
352	3.698.43	2.563.63	1.134.80	356.13	209.81	3.488.07
353	3.715.13	2.580.33	1.134.80	356.13	209.81	3.496.37
354	3.715.13	2.580.33	1.134.80	357.21	210.89	3.509.80
355	3.729.74	2.594.94	1.134.80	357.21	210.89	3.509.80
356	3.738.04	2.603.24	1.134.80	359.25	212.93	3.542.24
357	3.738.04	2.603.24	1.134.80	359.25	212.93	3.542.24
358	3.755.48	2.620.68	1.134.80	359.25	212.93	3.550.54
359	3.755.48	2.620.68	1.134.80	360.55	214.23	3.566.60
360	3.798.80	2.624.59	1.174.21	360.55	214.23	3.566.60
361	3.807.10	2.632.89	1.174.21	360.55	214.23	3.574.90
362	3.807.10	2.632.89	1.174.21	360.55	214.23	3.574.90
363	3.813.75	2.639.54	1.174.21	360.55	214.23	3.574.90
364	3.822.05	2.647.84	1.174.21	361.51	215.18	3.593.91
Final	3.829.48	2.655.27	1.174.21	361.51	215.18	3.593.91

Nota. Los números representan el volumen en barriles de NGL.

Anexo I. DETERMINACIÓN EL EQUIPAMIENTO DEL NUEVO SISTEMA

En la Tabla I1 se presenta un listado de la cantidad el metraje de las tuberías necesarias para transportar el NGL de los filtros Peco y Nowata hacia el proceso, esto se obtuvo midiendo la distancia que hay entre ambos puntos. Así también el metraje para las tuberías que transportar el nitrógeno de la línea principal de suministro hacia el punto de ambas baterías de filtrado.

También se calculó el número de válvulas y accesorios para instalar las tuberías y controlar el flujo de NGL.

Los ojos de Buey sirven para ver el sentido del flujo del fluido y si el fluido es líquido o gas, ya que tiene una mirilla la que permite visualizar.

Para el caso de la línea de ecualización no se necesita equipamiento nuevo, ya que tiene todas las conexiones hechas. Lo que se necesita es hacer la aprobación del nuevo procedimiento por parte del área de seguridad, la gerencia de planta y superintendencia de producción.

Por otro lado, esta operación ya se ha hecho esto en la entrega de otros equipos, teniendo muy buenos resultados. Porque el gas propano caliente vaporiza el GLP líquido que no se puede drenar.

Tabla II.

Listado del equipamiento necesario para el nuevo sistema.

Equipamiento			
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Línea de 3/4 ϕ de acero para inyección de nitrógeno a Filtros Peco	18	metros
2	Válvula bola de 3/4 ϕ de acero para bloqueo	1	---
3	Válvula globo de 3/4 ϕ de acero para control de flujo	4	---
4	Válvula check de 3/4 ϕ de acero para control de flujo inverso	4	---
5	Línea de 3/4 ϕ de acero para inyección de nitrógeno a Filtros Nowata	15	metros
6	Válvula bola de 3/4 ϕ de acero para bloqueo	1	---
7	Válvula globo de 3/4 ϕ de acero para control de flujo	3	---
8	Válvula check de 3/4 ϕ de acero para control de flujo inverso	3	---
9	Línea de 3/4 ϕ de acero para drenar Filtros Peco	15	metros
10	Válvula globo de 3/4 ϕ de acero para control de flujo	1	---
11	Válvula bola de 3/4 ϕ de acero para bloqueo	4	---
12	Válvula check de 3/4 ϕ de acero para control de flujo inverso	1	---
13	Línea de 3/4 ϕ de acero para drenar a Filtros Nowata	22	metros
14	Válvula globo de 3/4 ϕ de acero para bloqueo	3	---
15	Ojos de buey	2	---
16	Codos 3/4 ϕ	40	---
17	Te 3/4 ϕ	10	---
18	Niples 3/4 ϕ	15	---

ANEXO J. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Con la ayuda del diagrama funcional de bloques de la figura J1, el diafragma de procesos de la planta de la figura 7, describiremos de manera general lo que hace cada fase de la planta y principales equipos que intervienen. Si vemos la planta como si fuera un solo bloque en cuanto al procesamiento del NGL podemos afirmar que ingresa NGL y la planta lo separa en cuatro productos como son: Propano, butano, Nafta y MDBS. Estos últimos son almacenados y cuando se llegan a un volumen requerido por el cliente son vendidos.

Fase de Medición, Almacenamiento y Bombeo de NGL.- Guiándonos con el diagrama de la figura J1 en esta fase de la operación se cuantifica el NGL proveniente de la Planta Malvinas, lo almacena junto con las otras tres corrientes de ingreso y lo entrega a un flujo y presión constante para su procesamiento en la Fase de Fraccionamiento de NGL. La medición del NGL proveniente de Malvinas es básicamente para fiscalización, custodia y balance de materia esto se realiza mediante medidores cuantificadores ultrasónicos instalados en línea.

Como se evidencia en el diagrama de flujo de la figura 7 el almacenamiento se realiza en tanques esféricos presurizados con la finalidad principal eliminar las variaciones de flujo. El bombeo se hace necesario para el transporte del NGL desde la fase de almacenamiento hasta la fase de fraccionamiento de NGL. Según el diagrama funcional de bloques de la figura J1, se observa tres corrientes adicionales al ingreso de esta fase cabe mencionar que son corrientes intermitentes y son la recirculación, Slop de drenajes y condensados del Flare, las dos primeras son básicamente corrientes generadas por la recuperación de hidrocarburos drenados y purgados a los sistemas del Flare y drenajes. La corriente de recirculación aparece cuando se inicia la producción o cuando hay bajo nivel de esferas.

También hay dos corrientes de salida adicionales a la que se envía a la fase de fraccionamiento de NGL como son el agua libre y purgas y venteos, asimismo estas corrientes son intermitentes. La primera como lo indica es el drenado de agua libre que se da básicamente en los tanques esféricos. La segunda corriente se da cuando se entrega equipos presurizados como los filtros, y cuando se purga la línea de ecualización de los tanques esféricos y para controlar la presión de algunos equipos.

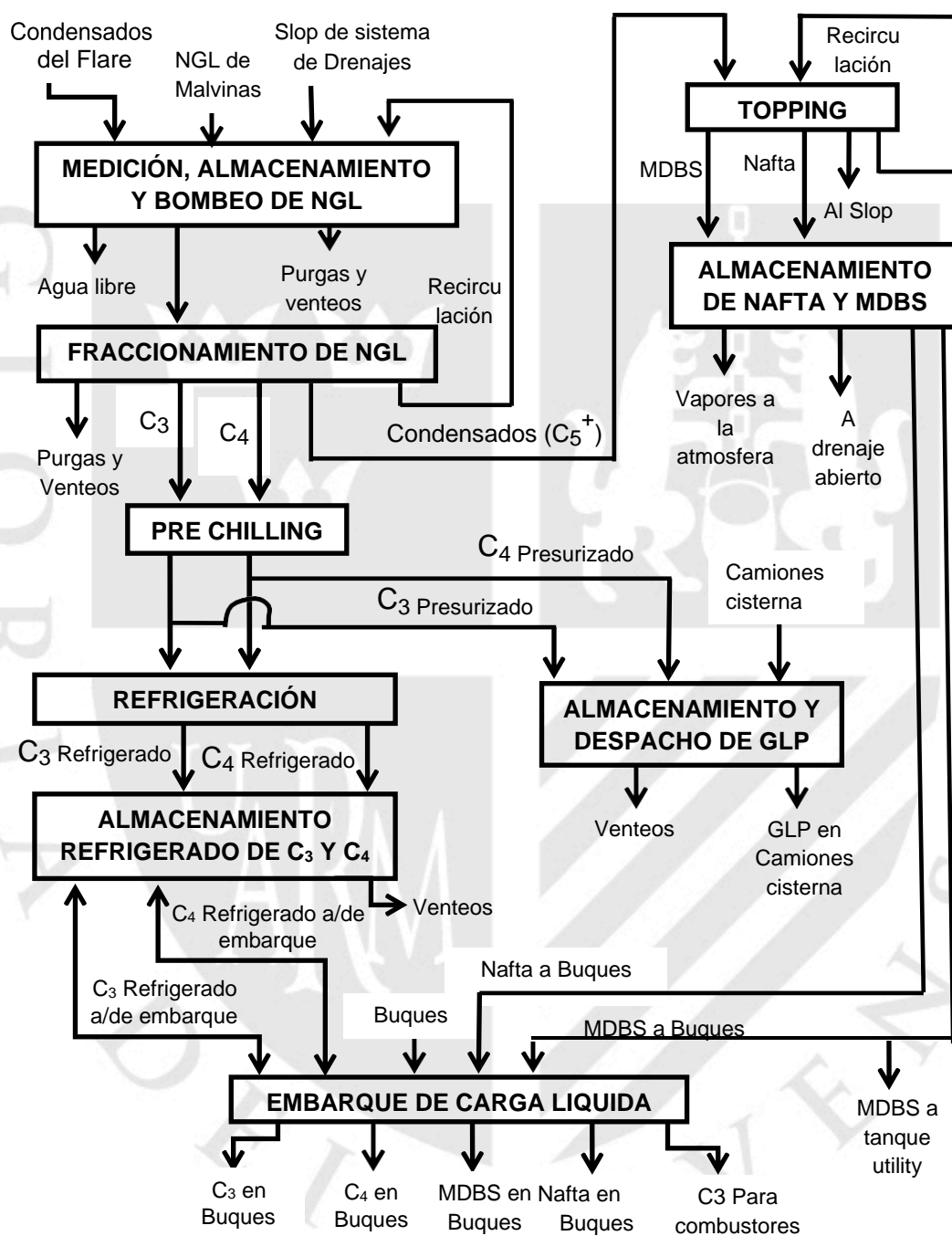


Figura J1. Diagrama funcional de bloques de la planta

Fase de Fraccionamiento de NGL.- Según el diagrama funcional de bloques de la figura J1 ingresa una sola corriente a esta fase proveniente de la Fase de Medición, almacenamiento y bombeo de NGL, y se destila del NGL obteniéndose productos en especificación como Propano, Butano y como subproducto Condensados (C_5^+).

El Propano y Butano obtenidos en la destilación se envían a Pre Chilling y luego una parte a tanques de almacenamiento presurizados, la otra fracción a tanques de almacenamiento refrigerados a estos últimos llega después de pasar por el sistema de refrigeración. A los condensados se envían al tanque de almacenamiento para su posterior procesamiento en la Fase de Topping.

También se observa la salida de una corriente de purgas y venteos la que se da por la entrega de equipos o para controlar la presión de equipos. Como se evidencia en el diagrama de flujo de la figura 7, primero se destila el propano la que se realiza en una columna de destilación fraccionada, y luego se destila el butano en una segunda columna de destilación fraccionada. En esta última por el tope sale el butano y por el fondo de la columna sale los condensados.

Topping.- De acuerdo al diagrama de la figura J1 en esta fase de la operación se separa el condensado proveniente del tanque de almacenamiento en las fracciones de Nafta, MDBS y Residual. Los dos primeros productos se envían a su respectivo tanque para almacenamiento y el residual al tanque Slop. Cabe mencionar también que en la actualidad no sale residual ya que se hizo una mejora y ya no evacua residual ya que se reprocesa.

La corriente de recirculación tanto al ingreso como a la salida, es intermitente y aparece cuando se hace arranque de Topping o cuando se tiene bajo nivel en el tanque de condensados. Según el diagrama de procesos de la figura 7 se observa que el Topping se realiza en una columna de fraccionamiento, en donde por el tope sale la nafta y por plato chimenea sale el MDBS; este último para estar en valores de especificación pasa por una fase de agotamiento.

Pre Chilling y Refrigeración.- En el diagrama funcional de bloques de la figura J1 se evidencia como dos etapas, pero se describirá las dos al mismo tiempo ya que su función principal de ambos es enfriar las corrientes de propano y butano; y la única diferencia está en la temperatura de salida de los productos. En Pre Chilling las corrientes de propano y butano salen a 60°F, mientras que la fracción de propano y butano que pasan a Refrigeración el corriente propano sale a -45°F y el butano sale a 20°F.

Almacenamiento Refrigerado y Bombeo de Propano y Butano.- En esta fase se almacena la producción de propano y butano refrigerado que viene de la fase de fraccionamiento después de pasar por los sistemas de Pre Chilling y refrigeración, hasta

obtener un volumen requerido por el cliente. Luego se embarca a los buques tanques a través de las líneas submarinas y el terminal marino de despacho.

En el diagrama de bloques de la figura J1 se evidencia que el flujo es bidireccional, esto porque se hace Cool Down a la línea submarina para mantenerlo fría; el que consiste es hacer circular propano refrigerado desde el tanque enviarlo hasta plataforma marina y regresa por la otra línea nuevamente hasta el tanque. Y también porque se hace desplazamiento de productos después del embarque de uno de los productos para embarca el siguiente.

Almacenamiento y Bombeo de Nafta y MDBS.- En esta fase de la operación permite almacenar Nafta y MDBS en tanques atmosféricos provenientes de la fase de Topping, hasta obtener un volumen requerido por el cliente, y luego bombear ambos productos a buques tanques.

En el diagrama de la figura J1 se evidencia la salida de dos corrientes adicionales como son vapores a la atmosfera y al drenaje abierto. Dado que los tanques son atmosféricos y los productos volátiles hay evacuación de vapores a la atmosfera. La segunda corriente se da cuando hay entrega de equipos y drenado de líneas.

Almacenamiento y Despacho de GLP.- Aquí en esta fase de Operación se recibe el Propano y Butano presurizados de la Fase de Fraccionamiento de NGL y/o del sistema de Pre Chilling a 60°F, lo almacena en tanques horizontales tal como se evidencia en el diagrama de la figura 7. Luego se bombea un producto a la vez hacia las plataformas de despacho para ser cargados en camiones cisterna, mezclados y comercializados como GLP. En el diagrama de la figura J1 se evidencia una corriente de Venteos y se da cuando se hace la carga de las cisternas y cuando se presurizan los tanques por encima de la presión de trabajo.

Embarque de Carga Líquida. - Tal como se percibe en el diagrama de la figura J1 esta fase recibe el bombeo de dos corrientes de Propano y Butano refrigerados de la fase de Almacenamiento Refrigerado de Propano y Butano, y dos corrientes de Nafta y MDBS de la fase de Almacenamiento y Bombeo de Nafta y MDBS. Luego carga estos productos en forma segura a los Buques Tanques a través de la plataforma de embarque. Para esto utiliza tres brazos de carga, dos para la carga de Propano y Butano refrigerados y Nafta, y uno para la carga de MDBS. Asimismo, es importante mencionar que el embarque de los productos se realiza solo de uno a la vez.

ANEXO K. FLUJO PULSANTE

Primeramente, explicaremos a que nos referimos con comportamiento pulsante. Por ejemplo imaginemos que escasea el agua y un humano para que sobreviva debe tomar un litro de agua el lunes, el jueves toma dos litros de agua, el domingo un litro de agua, el miércoles dos litros de agua y así hasta que muere.

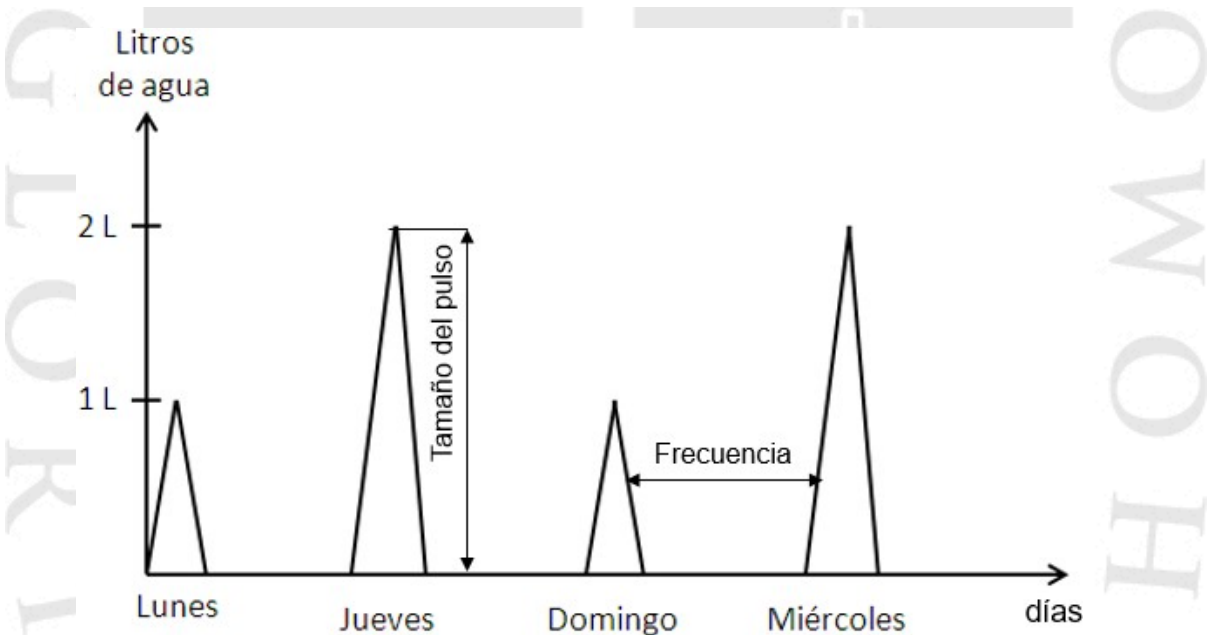


Figura K1. Flujo de comportamiento pulsante.

Ahora analizaremos el ejemplo y con la ayuda de la figura K1 explicaremos lo que se pretende mostrar. En este ejemplo los litros de agua en el tiempo es el flujo de comportamiento pulsante, ya que el humano el lunes bebe un litro de agua el flujo hace un pulso de un litro, los dos días siguientes no bebe nada el flujo es cero. Luego el jueves bebe dos litros el flujo hace un pulso de dos litros, los dos días siguientes no bebe nada el flujo es cero. Luego el domingo bebe un litro de agua el flujo hace un pulso de un litro, los dos días siguientes no bebe nada el flujo es cero. Y finalmente el miércoles bebe dos litros el flujo hace un pulso de dos litros, y así sucesivamente estos ciclos continúan hasta su muerte del humano.

En el ejemplo citado el flujo pulsante son los litros de agua en el tiempo que bebe el humano en donde: El pulso se determina por (a) el tamaño del pulso, (b) la frecuencia y (c) el tipo de datos del pulso y la frecuencia (probabilísticos o determinísticos). El tamaño del pulso depende de la cantidad de litros de agua, ya que si bebe un litro el pulso es más pequeño que un pulso de dos litros. La frecuencia con la que aparecen estos pulsos es la

distancia entre pulsos para este ejemplo es cada dos días, primero un pulso de un litro; después de dos días un pulso de dos litros, después de dos días más un pulso de un litro y así sucesivamente se repiten los ciclos.

Para el ejemplo citado los datos (valores) del tamaño del pulso y la frecuencia ya están determinados. Ya que el pulso solo toma dos valores en un orden establecido, aunque son dos valores no obedece a una distribución probabilística; y la frecuencia es dos días todas las veces. Por lo tanto, este flujo de agua es pulsante de pulso determinístico y frecuencia determinística. Pero puede darse el caso que los pulsos cambien y tomen determinados valores posibles según una distribución probabilística, y la frecuencia también puede cambiar y tomar determinados valores según una distribución probabilística. En este caso sería un flujo pulsante de pulso probabilístico discreto y frecuencia probabilística discreta.

A continuación, se describirá cada uno de los tres flujos individuales, apoyándonos del ejemplo citado anteriormente.

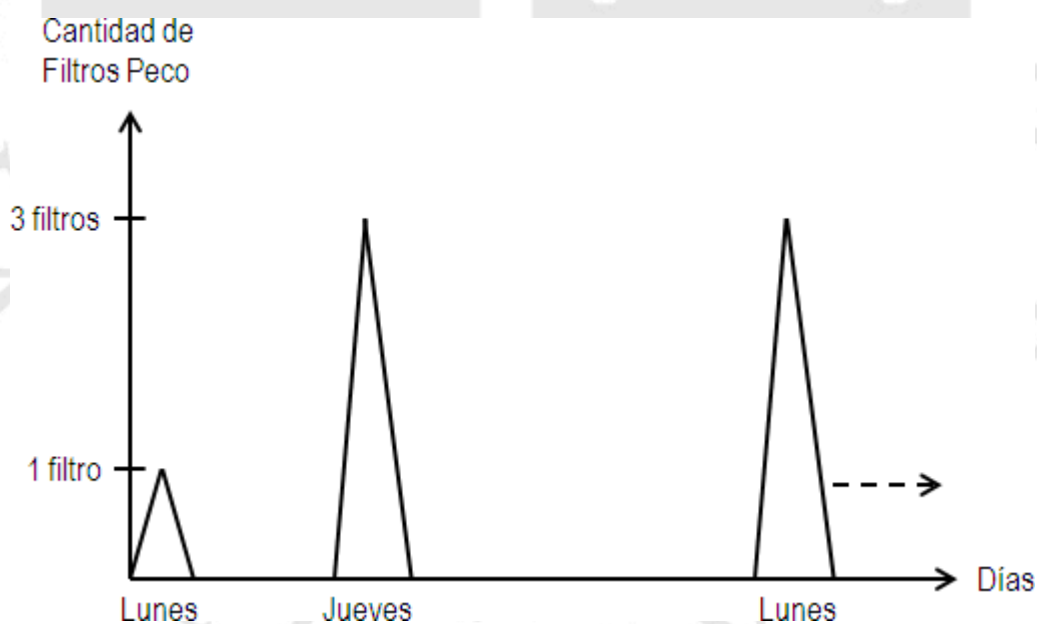


Figura K2. Flujo pulsante de NGL en los filtros Peco.

Finalmente, con la gráfica K2 vamos a mostrar una parte de una de las probables gráficas del flujo pulsante de NGL en los filtros Peco, utilizando las Tablas 4 y 5. El ejemplo es el siguiente: El día lunes hacemos cambio de elementos filtrantes a un filtro Peco y dos días después hacemos cambio de elementos filtrantes a tres filtros Peco, luego cuatro días después cambiamos elementos filtrantes a tres filtros Peco.

ANEXO L. ELEMENTOS DEL SOFTWARE STELLA 9.0.2.

Para realizar estos modelos de simulación utilizaremos el software Stella versión 9.0.2, este software utiliza cuatro elementos para hacer la simulación, y estos son: (a) Stock, (b) Flujo, (c) Convertidor y (d) conector. Con la ayuda de la figura L1 vamos a explicar los cuatro elementos del software Stella los que nos ayudaran a la construcción de los modelos.

Stock: Es un símbolo genérico para cualquier cosa que acumula o consume recursos. Por ejemplo, agua acumulada en una tina de baño. En cualquier tiempo la cantidad de agua en la tina refleja la acumulación del agua que fluye desde la llave, menos lo que fluye hacia el drenaje. La cantidad de agua es una medida del stock de agua. El símbolo al final de la flecha del flujo indica que puede ingresar una cantidad infinita de valores, y cuando esta al inicio indica que puede enviar una cantidad infinita de valores.

Flujo: Un flujo es la tasa de cambio de un stock. En el ejemplo de la tina de baño, los flujos son el agua que entra y el agua que sale.

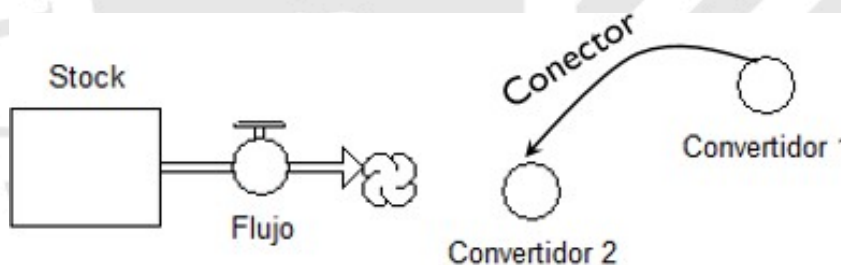


Figura L1. Elementos del Software Stella

Convertidor: Un convertidor se utiliza para tomar datos de entrada y manipularlos para convertir esa entrada en alguna señal de salida. En el ejemplo de la tina de baño, si se toma el control de la llave que vierte el agua al interior, el convertidor toma como entrada esta acción en la llave y convierte la señal en una salida que se refleja en la salida de agua.

Conector: Un conector es una flecha que le permite a la información pasar entre: convertidores; stocks y convertidores; stocks, flujos y convertidores. Un conector cuya dirección va de un convertidor 1 a un convertidor 2 significa que el convertidor 2 es función del convertidor 1. En otras palabras, el convertidor 1 afecta al convertidor 2.

ANEXO M. HISTOGRAMAS Y GRAFICAS DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE LAS FRECUENCIAS DE DRENADO DE LOS FILTROS.

En este anexo vamos a mostrar la manera como se halló la distribución de probabilidad de las frecuencias de intervención de los filtros Peco y Nowata.

Distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de los filtros Peco:

Para determinar la distribución de probabilidad de F_p lo haremos mediante comparación gráfica entre el histograma de F_p y una distribución teórica, por lo que en la figura M1 se puede ver un histograma hecho con los datos de la Tabla 2 en el software estadístico Minitab 16, para la intervención de los filtros Peco. En el eje horizontal se coloca los valores probables que puede tomar una intervención en los filtros Peco y la siguiente intervención, y en el eje vertical la frecuencia que se repitió cada uno de los valores probables.

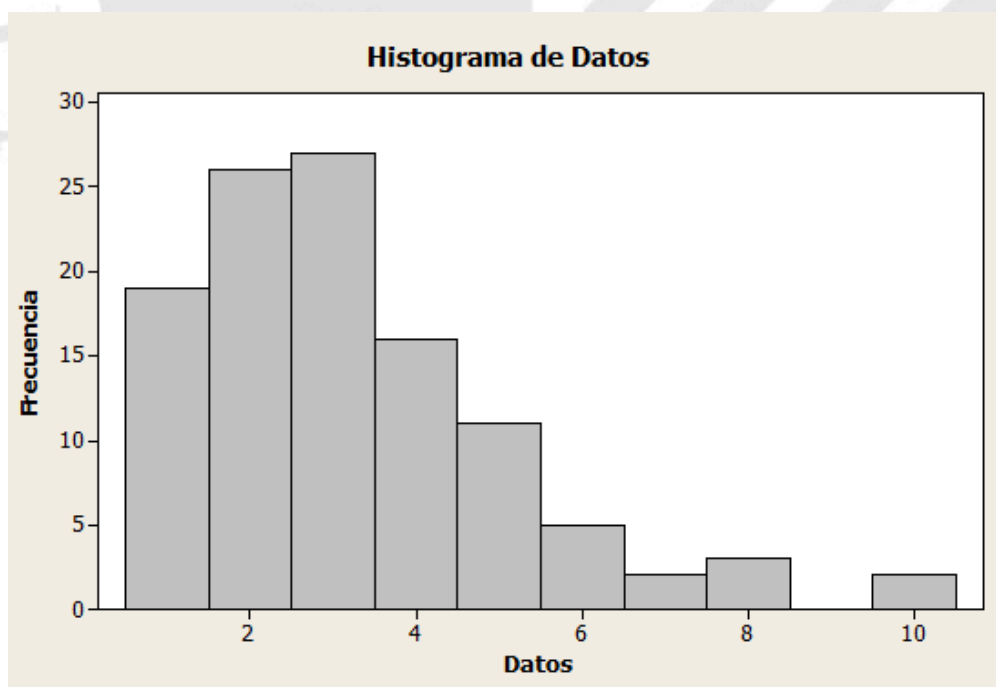


Figura M1. Histograma de la frecuencia de intervención de los filtros Peco.

Luego con los datos que se usó para construir el histograma de la figura M1, se construyó graficas con distribuciones de probabilidad discretas típicas y/o teóricas; no se asemejo a ninguna. Por sugerencia de estadistas se decidió hacer la comparación gráfica con una distribución discreta, y sí se asemejo; por lo tanto optamos por aplicarle una distribución discreta. Tal como se puede ver en la figura M2 se presenta la gráfica de una función discreta teórica y sí se asemeja a la figura M1 que es el histograma de los filtros Peco. Con lo que se concluye que la distribución de probabilidad para la frecuencia de intervención de filtros Peco (Fp), tiene una distribución discreta.

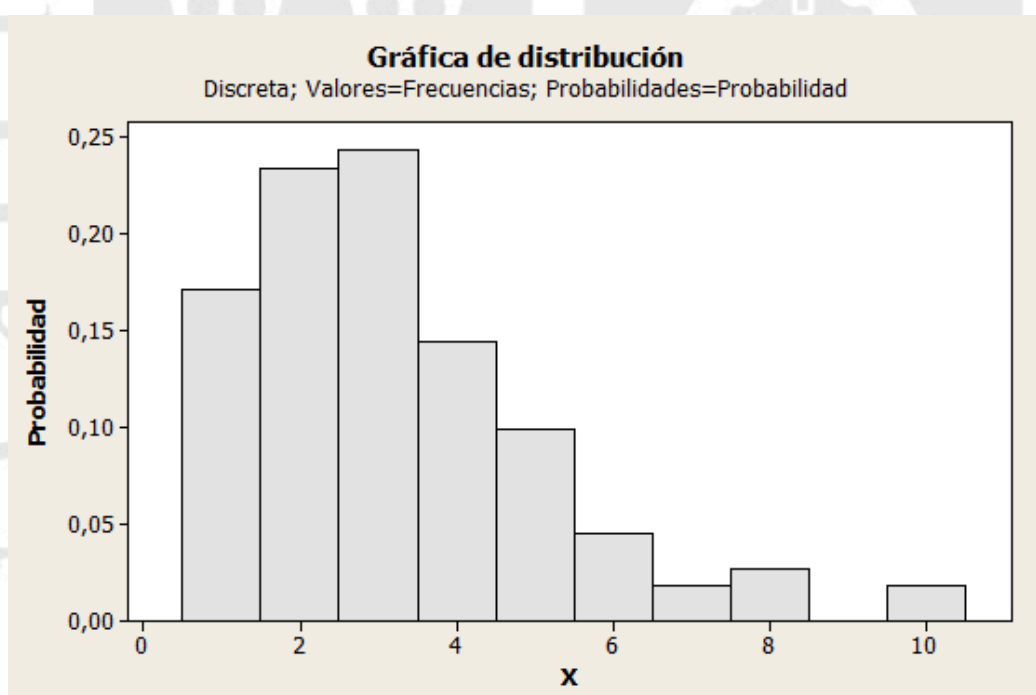


Figura M2. Gráfica de distribución discreta teórica de la frecuencia de intervención de filtros Peco.

Distribución de probabilidad de la frecuencia de intervención de los filtros Nowata:

Para determinar la distribución de probabilidad de F_n lo haremos mediante comparación gráfica entre el histograma de F_n y una distribución teórica, por lo que en la figura M3 se puede ver un histograma hecho con los datos de la Tabla 2 en el software estadístico Minitab 16, para la intervención de los filtros Nowata. En el eje horizontal se coloca los valores probables que puede tomar una intervención en los filtros Nowata y la siguiente intervención, y en el eje vertical la frecuencia que se repitió cada uno de los valores probables.

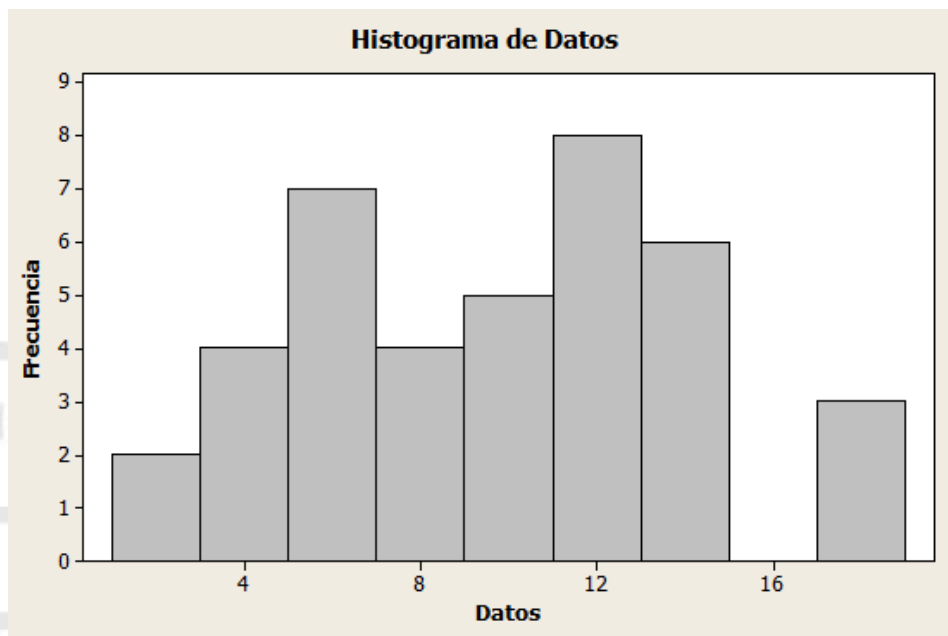


Figura M3. Histograma de la frecuencia de intervención de los filtros Nowata.

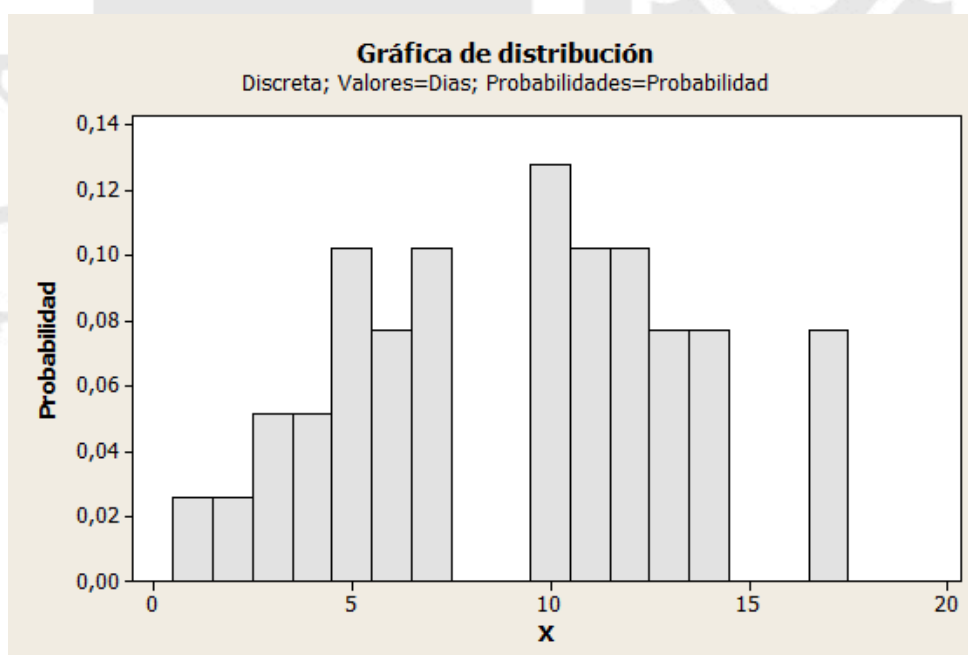


Figura M4. Gráfica de distribución discreta teórica de la frecuencia de intervención de filtros Nowata.

Luego con los datos que se usó para construir el histograma de la figura M3, se construyó graficas con distribuciones de probabilidad discretas típicas y/o teóricas; no se asemejo a ninguna. Por sugerencia de estadistas se decidió hacer la comparación gráfica con una distribución discreta, y sí se asemejo; por lo tanto, optamos por aplicarle una distribución discreta. Tal como se puede ver en la figura M4 se presenta la gráfica de una

función discreta teórica y sí se asemeja a la figura M3 que es el histograma de los filtros Nowata. Con lo que se concluye que la distribución de probabilidad para la frecuencia de intervención de filtros Nowata (F_n), tiene una distribución discreta.



GLOSARIO

NGL. - Natural Gas Liquids (Líquidos de gas natural o LGN).

LP GAS. - Liquefied Petroleum Gas (Gas Licuado de Petróleo (GLP)).

LNG. - Liquefied Natural Gas (Gas natural Licuado).

MDBS. - Medium destilate blending stock.

NOWATA. - Marca del recipiente de filtración Post almacenamiento.

PECO. - Marca del recipiente de filtración Pre almacenamiento.

BPD. - Barriles americanos por día.

DRENAR. - Acción de extraer un fluido líquido de un acumulador.

PURGAR. - Acción de extraer un fluido gaseoso de un acumulador, o extraer un contaminante que obstruye el libre paso del fluido por una tubería.

BORRA. - Emulsiones de hidrocarburos pesados.

PSI. - Pound per Square Inch.

PSID. - Unidad de medida de la presión diferencial en PSI.

LEL. - Low Explosive Limit (Límite inferior de explosividad).

UEL. - Upper Explosive Limit (Límite superior de Explosividad)

PTAR. - Permiso de trabajo y Análisis de Riesgo.

LOTO. - Lockout y Tagout (Bloqueo y etiquetado).

LEAK TEST. - Prueba de fugas.

REFERENCIAS

- A.H Younger, P. (April 2004). *Natural Gas Processing Principles and Tecnology - Part I*. Calgary: Thim m Engineering Inc.
- A.H Younger, P. E. (2004). *Natural Gas Processing Principles and Tecnology - Part II*. Calgary: Thim m Engineering Inc.
- ABB. (2013). *Oil And Gas Production Handbook*. oslo.
- Averill, L., & David, K. (1991). *SIMULATION MODELING AND ANALYSIS*. SINGAPORE: MAC GRAW HILL.
- De La Vega Miranda, M. (mayo de 2012). *ACADEMIA*. Obtenido de ACADEMIA: http://www.academia.edu/9923012/Tablas_y_figuras_APA_sexta_edici%C3%B3n
- H.Besterfield, D. (2009). *Control de Calidad*. Mexico: Pearson.
- International Energy Agency (IEA). (2015, Julio 5). *International Energy Agency*. Retrieved Julio 5, 2015, from International Energy Agency: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ngl2010_free.pdf
- La guia - física. (05 de Mayo de 2016). *La guía*. Recuperado el 16 de Agosto de 2015, de Diagrama de Moody: <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>
- Lieberman, N. P., & T.Lieberman, E. (2008). *A Working Guide To Process Equipment*. The United States: Mc Graw Hill.
- Lyons, W. C. (2010). *Petroleum And Natural Gas Production Engineering*. Oxford: Elsevier.
- PALOMINO ESPINOZA, M. A. (Noviembre de 2012). *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ*. Obtenido de APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LEAN MANUFACTURING EN LAS LÍNEAS DE ENVASADO DE UNA PLANTA ENVASADORA DE LUBRICANTES: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1707/PALOMINO_MIGUEL_LEAN_MANUFACTURING_LUBRICANTES.pdf?sequence=1
- Perry, R. H. (1999). *Chemical Engineer's Handbook 7th Edition*. USA: McGraw Hill Companies.

Petroleos de Venezuela (PDVSA). (05 de Mayo de 2016). *SlideShare*. Recuperado el 22 de Julio de 2015, de El pozo ilustrado ingeniería en petróleo: <http://es.slideshare.net/roberto6685/el-pozo-ilustrado-ingeniera-en-petroleo>

Puche Forte, J. F., Andrés Carpena, J. J., Gómez Gómez, J., López Vilar, R., Santa Villalba, S., & Sanz Perpiñan, J. (2005). *GUIA PRÁCTICA PARA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES*. Murcia.

Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. Mexico: Mc Graw Hill.

Rose M. Vicenty Colon, N. F. (s.f.). *Slideshare*. Recuperado el 27 de Julio de 2015, de <http://es.slideshare.net/selene1524/muestreo-por-conveniencia?related=3>

SFM Companies. (n.d.). www.sfmic.com. Retrieved Julio 23, 2015, from https://www.sfmic.com/res_cat_doc/five_min_lockout_tagout_spanish.pdf?t=1437678243698